

Herausgeber:

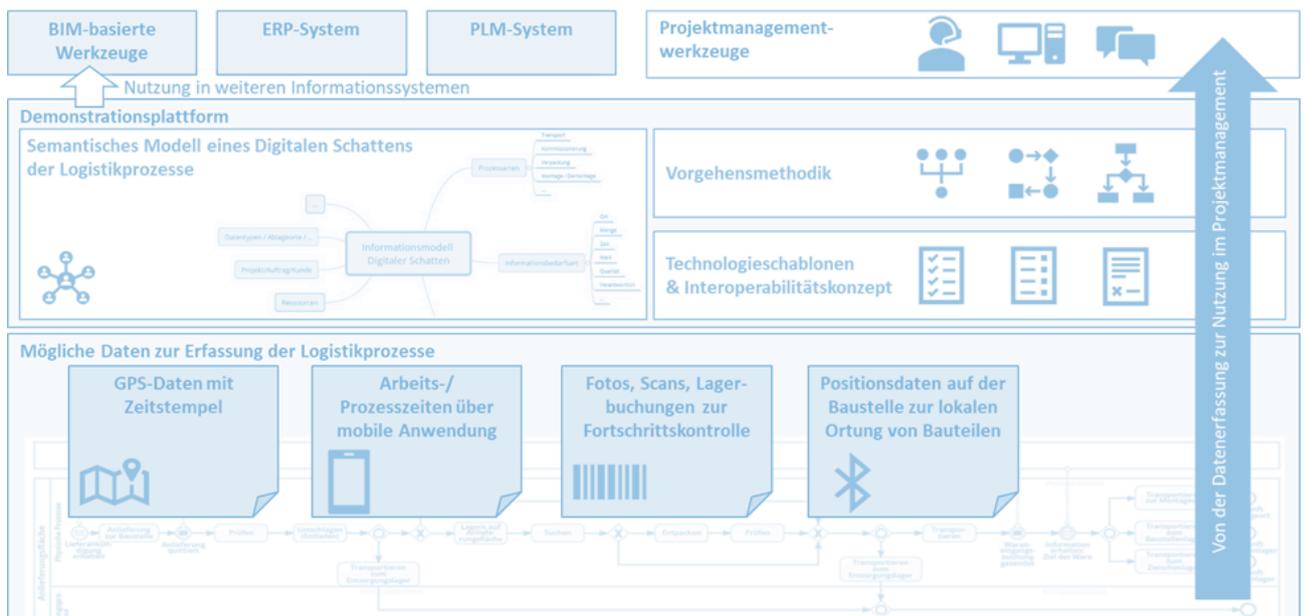
Prof. Dr.-Ing. Sigrid Wenzel

Prof. Dr. Christoph Laroque



Schlussbericht zum Projekt

dataject.log – Entwicklung eines semantischen Modells zur Beschreibung eines Digitalen Schattens der Logistikprozesse im Maschinen- und Anlagenbau zur Verwendung im Projektmanagement



Schlussbericht vom 15.09.2023

zu IGF-Vorhaben Nr. 21755 BG

Thema

Entwicklung eines semantischen Modells zur Beschreibung eines Digitalen

Schattens der Logistikprozesse im Maschinen- und Anlagenbau zur Verwendung

im Projektmanagement

Berichtszeitraum

01.04.2021-31.05.2023

Forschungsvereinigung

AiF-Forschungsvereinigung

Bundesvereinigung Logistik e.V. - BVL

Forschungseinrichtung(en)

Gemeinsamer Bericht aller beteiligten Forschungsstellen:

1. Universität Kassel
2. Westsächsische Hochschule Zwickau

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Schlussbericht zum Projekt

dataject.log

Entwicklung eines semantischen Modells zur Beschreibung eines
Digitalen Schattens der Logistikprozesse im Maschinen- und
Anlagenbau zur Verwendung im Projektmanagement

Deike Gliem, Daniel Vössing, Sigrid Wenzel, Universität Kassel,
Fachgebiet für Produktionsorganisation und Fabrikplanung

Wibke Kusturica, Christoph Laroque, Westsächsische Hochschule
Zwickau, Institut für Management und Information

Laufzeit: 01.04.2021 – 31.05.2023



Herausgegeben von:

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

Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung (pfp)
Universität Kassel

Prof. Dr. Christoph Laroque

Professur Business Analytics
Institut für Management und Information
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

Printed in Germany 2023

ISBN 978-3-9822278-1-8



Das IGF-Vorhaben 21755 BG 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 Klimaschutz (BMWK) 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
34125 Kassel

Leiterin der Forschungsstelle

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

Projektleiterin

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

Name und Anschrift der Forschungsstelle 2

Westfälische Hochschule Zwickau

Institut für Management und Information
Professur Business Analytics
Campus Eckersbach
Scheffelstraße 39
08056 Zwickau

Leiter der Forschungsstelle

Prof. Dr. Christoph Laroque
Tel.: +49 (0) 375 536 3221
E-Mail: Christoph.Laroque@fh-zwickau.de

Projektleiter

Prof. Dr. Christoph Laroque

Inhaltsverzeichnis

Thema	1
Berichtszeitraum	1
Forschungsvereinigung	1
Forschungseinrichtung(en)	1
Inhaltsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	X
1 Zusammenfassung	1
2 Einleitung	2
2.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung.....	2
2.2 Forschungsziel und angestrebte Ergebnisse	3
2.3 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse.....	5
2.4 Lösungsweg zur Zielerreichung	6
3 Stand der Wissenschaft und Technik	8
3.1 Digitaler Schatten im Kontext Industrie 4.0	8
3.2 Datenerhebung auf der Baustelle.....	10
3.3 Strukturierung von Daten in einem semantischen Modell.....	11
4 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	14
4.1 Beschreibung des Projektablaufs.....	14
4.2 Beschreibung der Projektergebnisse	17
4.2.1 Gesamtkonzept.....	17
4.2.2 Systematisierung und Spezifikation von Logistikprozessen auf der Baustelle	19
4.2.3 Identifikation von Anwendungsfällen	23
4.2.4 Entwicklung eines Technologiekatalogs.....	25
4.2.5 Identifikation von Bewertungskriterien für die Auswahl einer Technologie zur (teil-)automatischen Datenerfassung mittels Delphi-Studie	30
4.2.6 Entwicklung einer Methodik zur Technologieauswahl	33

4.2.7	Entwicklung eines semantischen Modells	38
4.2.8	Evaluation der Methodik und des semantischen Modells	55
4.2.9	Anforderungsanalyse, funktionales und technisches Lastenheft	61
4.2.10	Implementierung einer Demonstrationsplattform.....	63
4.2.11	Beschreibung eines Nutzungskonzeptes und des Datenmanagements.....	69
4.2.12	Beschreibung der Vorgehensmodelle	72
4.2.13	Interoperabilitätskonzepte.....	78
4.2.14	Evaluation der Projektergebnisse	79
4.2.15	Dokumentation und Transfer.....	90
4.3	Verwendung der zugewendeten Mittel	90
5	Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen der Forschungsergebnisse für KMU.....	92
5.1	Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von KMU.....	92
5.2	Aussagen zur voraussichtlichen industriellen Umsetzung der FuE-Ergebnisse nach Projektende	93
6	Transfermaßnahmen	94
6.1	Ergebnistransfer in die Wirtschaft	94
6.1.1	Ergebnistransfer in die Wirtschaft während der Projektlaufzeit.....	94
6.1.2	Geplante Transfermaßnahmen nach Ende des Vorhabens	96
6.1.3	Einschätzung zur Realisierbarkeit des Transferkonzeptes	97
6.2	Veröffentlichungen und universitäre Abschlussarbeiten	97
7	Fazit und Ausblick	100
	Literaturverzeichnis.....	101
	Anhang	112

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Projektkonzept	4
Abbildung 2-2: Arbeitsschritte im Projekt.....	7
Abbildung 4-1: Arbeitsdiagramm des Forschungsvorhabens und Ressourcenbedarf	14
Abbildung 4-2: Konzept zur Umsetzung und Nutzung eines Digitalen Schattens für auf der Baustelle erhobene Logistikdaten	18
Abbildung 4-3: Systemgrenze	19
Abbildung 4-4: Referenzprozess „Anlieferungsfläche Baustelle“	20
Abbildung 4-5: Logistischer Basisprozess „Transport“	21
Abbildung 4-6: Identifikationstechnologien	26
Abbildung 4-7: Erfassungstechnologien	28
Abbildung 4-8: Übertragungstechnologien	29
Abbildung 4-9: Auszug aus dem Technologiecatalog	30
Abbildung 4-10: Identifizierte Bewertungskriterien aus der Literaturrecherche	31
Abbildung 4-11: Ausschnitt des Online-Fragebogens zur Delphi-Studie in der zweiten Runde.	32
Abbildung 4-12: Methodik zur Technologieauswahl	36
Abbildung 4-13: Anforderungsprofil zur Technologieauswahl	37
Abbildung 4-14: Skala für Harvey Balls	40
Abbildung 4-15: Einfaches Beispiel der Klassen und Beziehungen aus dem Ontologiekonzept	44
Abbildung 4-16: Legende für Konzeptmodell.....	45
Abbildung 4-17: Ontologieklassen zur Abbildung von Logistikprozessen	45
Abbildung 4-18: Ontologiekonzept Oberklasse B_Bereich	46
Abbildung 4-19: Ontologiekonzept Oberklasse LBP_Logistischer_Basisprozess	47
Abbildung 4-20: Ontologiekonzept Oberklassen TO_Transformationsobjekt (links) und R_Ressource (rechts)	48
Abbildung 4-21: Ontologieklassen zur Technologieauswahl.....	48
Abbildung 4-22: Ontologiekonzept Oberklasse T_Technologie	49
Abbildung 4-23: Ontologiekonzept Oberklasse K_Kriterium (Auszug)	50
Abbildung 4-24: Ontologiekonzept Oberklassen TK_Technologiekette (links) und P_Profil (rechts)	51
Abbildung 4-25: Ontologie mit Fokus auf den Digitalen Schatten (Auszug)	52
Abbildung 4-26: Verknüpfung der Logistikprozesse mit der Technologieauswahl	53
Abbildung 4-27: Ontologie mit Fokus auf die Technologieauswahl (Auszug).....	54
Abbildung 4-28: Evaluationsergebnisse zur Methodik und zur Anwendung für die Technologieauswahl	58
Abbildung 4-29: Evaluationsergebnisse zum Ontologiekonzept	60
Abbildung 4-30: Systematik zur Erstellung Anforderungen nach Rupp (2014)	62

Abbildung 4-31: Architektur der Demonstrationsplattform	63
Abbildung 4-32: Zugriff auf die Wissensbasis.....	66
Abbildung 4-33: Rollen im Sequenzdiagramm (Auszug)	68
Abbildung 4-34: Login-Bereich der Dataject-Anwendung (links); Startseite der Dataject-Anwendung (rechts).....	68
Abbildung 4-35: Use Case Diagramm zur Nutzung des semantischen Modells	69
Abbildung 4-36: Übersicht Datenfluss nach Funktionsbereichen.....	70
Abbildung 4-37: Vorgehensmodell zur Adaption der allgemeingültigen Ontologie an unternehmensspezifische Bedarfe	72
Abbildung 4-38: Vorgehensmodell Funktionsbereich a) Technologieauswahl	73
Abbildung 4-39: Vorgehensmodell Funktionsbereich b.I) Dateneingabe (Projektmanagement)	74
Abbildung 4-40: Vorgehensmodell Funktionsbereich b.II) Dateneingabe (Baustelle)	75
Abbildung 4-41: Vorgehensmodell Funktionsbereich b.III) Dateneingabe (Projektmanagement)	76
Abbildung 4-42: Vorgehensmodell Funktionsbereich c.I) Datenausgabe.....	77
Abbildung 4-43: Interoperabilitätskonzepte aus Projekt- (links) und Anwendersicht (rechts)	79
Abbildung 4-44: Auswertung der Evaluationsergebnisse (Demonstrationsplattform, Abschnitt 1)	82
Abbildung 4-45: Auswertung der Evaluationsergebnisse (Demonstrationsplattform, Abschnitt 2a)	82
Abbildung 4-46: Auswertung der Evaluationsergebnisse (Demonstrationsplattform, Abschnitt 2b)	83
Abbildung 4-47: Auswertung der Evaluationsergebnisse (Demonstrationsplattform, Abschnitt 3)	85
Abbildung 4-48: Auswertung der Evaluationsergebnisse (Demonstrationsplattform, Abschnitt 4)	85
Abbildung 4-49: Auswertung der Evaluationsergebnisse (Demonstrationsplattform, Abschnitt 5, Frage 1)	86
Abbildung 4-50: Auswertung der Evaluationsergebnisse (Demonstrationsplattform, Abschnitt 5, Frage 2)	87

Tabellenverzeichnis

Tabelle 4-1: Spezifikation des logistischen Basisprozesses „außerbetrieblicher Transport“	23
Tabelle 4-2: Auszug der Kriterienliste mit ihren Ausprägungen	33
Tabelle 4-3: Auszug aus der Technologiematrix	34
Tabelle 4-4: Beispiele für Technologieketten.....	35
Tabelle 4-5: Identifizierte Ontologien aus der Logistikdomäne einschließlich Bewertung ihrer Eignung für den Maschinen- und Anlagenbau.....	41
Tabelle 4-6: User-Stories (Auszug)	62
Tabelle 6-1: Durchgeführte Transfermaßnahmen.....	94
Tabelle 6-2: Geplante Transfermaßnahmen.....	96

Abkürzungsverzeichnis

A	Auftrag
AF	Anlieferungsfläche
AHM	Arbeitshilfsmittel
AiF	Allianz industrieller Forschung
AM	Arbeitsmittel
AS	Arbeitsschritt
B	Bereich
BIM	Building Information Model
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BPMN	Business Process Modeling and Notation
BVL	Bundesvereinigung Logistik
CCD	Charge-coupled Device
CSV	Comma-separated Values
DL	Description Logic
EAN	European Article Number
ERP	Enterprise Resource Planning
ET	Erfassungstechnologie
FAQ	Frequently Asked Questions
GLN	Global Location Number
GPS	Global Positioning System
GTIN	Global Trade Item Number
GUI	Graphical User Interface
HF	High Frequency
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
ID	Identifikation
IGF	Industrielle Gemeinschaftsforschung
IT	Informationstechnik
IuK	Information und Kommunikation

K	Kriterium
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LAN	Local Area Network
LBP	Logistischer Basisprozess
LF	Low Frequency
LKW	Lastkraftwagen
LTE	Long Term Evolution
MA	Mitarbeitende
MS	Microsoft
MSO	Manufacturing Systems Ontology
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture
ORSD	Ontology Requirements Specification Document
OWL	Web Ontology Language
P	Profil
PA	Projektbegleitender Ausschuss
ppf	Produktionsorganisation und Fabrikplanung
PLM	Product Lifecycle Management
PM	Projektmanagement
PO	Positionsnummer
QR	Quick Response
R	Ressource
RDF	Resource Description Framework
RDFS	Resource Description Framework Schema
RFID	Radio-Frequency Identification
SPARQL	SPARQL Protocol and Resource Description Framework Query Language
SQL	Structured Query Language
T	Technologie
Ta	Transport außerbetrieblich
TK	Technologiekette

TO	Transformationsobjekt
UeT/ÜT	Übertragungstechnologie
UHF	Ultra-High-Frequency
UniKS	Universität Kassel
VBA	Visual Basic for Applications
WHZ	Westsächsische Hochschule Zwickau
WLAN	Wireless Local Area Network
XML	Extensible Markup Language

1 Zusammenfassung

Die termingerechte Fertigstellung, Lieferung und Inbetriebnahme einer Maschine oder Anlage sind entscheidende Wettbewerbsfaktoren für die zumeist mittelständischen Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus. Zudem wird die geforderte Individualisierung der Produkte zu einem wichtigen Wettbewerbsmaßstab. In diesem Zusammenhang bestimmen die präzise Planung und Durchführung aller logistischen Prozesse rund um ein kundenspezifisches Projekt die zuverlässige Terminplanung und -einhaltung. Diese Prozesse sind allerdings mit Unsicherheiten verbunden. Ist-Daten der ausgeführten logistischen Prozesse stehen heute in der Unikat- und Kleinserienfertigung nicht in ausreichender Quantität und Qualität zur Verfügung; damit sind eine regelbasierte Auswertung, Analyse und Nachnutzung dieser Daten nicht möglich und eine höhere Planungsqualität und -sicherheit kann nicht erreicht werden. Die im Rahmen des Vorhabens entwickelten methodischen Lösungen erlauben eine digitale Abbildung der logistischen Prozesse im Maschinen- und Anlagenbau und schaffen eine bisher nicht erreichbare Transparenz der Logistikprozesse während des Baustellenbetriebs.

Das entwickelte semantische Modell (Informationsmodell) als Digitaler Schatten der Logistikprozesse basiert auf Logistikreferenzprozessen der Unikat- und Kleinserienfertigung, angereichert um Verknüpfungen zu den Informationsbedarfen für das Projektmanagement. Es integriert die allgemeine Beschreibung von Datenidentifikations-, Datenerfassungs- und Datenübertragungstechnologien sowie die spezifischen Kombinationsmöglichkeiten der einzelnen Technologien in Form von Technologieschablonen. Ein systematisches Vorgehensmodell erlaubt die unternehmensspezifische Adaption des zunächst allgemeinen Informationsmodells; unternehmensspezifische Instanziierungen und Adaptionen zur Abbildung der jeweiligen Unternehmensprozesse sind möglich. Über die Verwendung der verschiedenen Technologieschablonen wird die technische Erfassung projektrelevanter Daten während der Projektdurchführung leicht umsetzbar. Mit der Evaluation anhand konkreter Anwendungsfälle und einzelner Demonstratoren zur (teil-)automatischen und manuellen Datenerfassung werden die Leistungsfähigkeit sowohl der Methodik als auch des Informationsmodells bestätigt.

Das entwickelte Vorgehensmodell und das als Ontologie realisierte semantische Modell erlauben eine umfassende Erfassung, Aufbereitung und Bereitstellung von Informationen zur Abbildung eines Digitalen Schattens von Logistikprozessen für das Projektmanagement im Maschinen- und Anlagenbau. Beide Ergebnisse sind auf Unikat- und Kleinserienfertiger außerhalb des Anlagenbaus übertragbar. Das semantische Modell ist flexibel erweiterbar geplant und umgesetzt worden. Die Vertreter der Industrieunternehmen im Projektbegleitenden Ausschuss (PA) bestätigten Nutzen, Praktikabilität und Übertragbarkeit der Methodik.

Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht.

2 Einleitung

Der deutsche Maschinen- und Anlagenbau weist einen beträchtlichen Anteil an kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) auf, die ihre Produkte im Kontext von Projektgeschäften entwickeln, fertigen und montieren (Heidmann 2015). In diesem Zusammenhang stehen die Unternehmen vor der Herausforderung einer hohen Produktindividualität. Auf den Baustellen, an denen die Montage und Inbetriebnahme dieser Produkte stattfindet, erfolgt derzeit kaum oder gar keine Datenerfassung, die den Verlauf des Projektes dokumentiert und analysiert (Helmus 2009). Während die präzise Planung von Montage- und Logistikprozessen einen erheblichen Einfluss auf den Erfolg von Projekten und Unternehmen hat (Schuh et al. 2013; Arnold et al. 2008), führt der Mangel an Daten zur Überwachung des Projektfortschrittes zu Verzögerungen bei der Erkennung und Bewältigung möglicher Störungen im Ablauf der geplanten Logistikprozesse. Diese Verzögerungen können wiederum zu zusätzlichen Kosten bei dem ausführenden Unternehmen führen (Wenzel et al. 2019).

2.1 Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Die termingerechte Fertigstellung von Projekten erfordert nicht nur eine detaillierte Produktionsplanung, sondern auch eine sorgfältige Planung und Überwachung der logistischen Prozesse während der Montage auf der Baustelle. Die Baustellenmontage birgt aufgrund der spezifischen Gegebenheiten und der Zusammenarbeit mit Subunternehmen und Dienstleistern Risiken, wie etwa das Fehlen von Material oder Werkzeugen (Burghardt 2002). Das ebenfalls von beiden Forschungseinrichtungen durchgeführte Forschungsprojekt „SimCast – Simulationsgestützte Prognose der Dauer von Logistikprozessen“ (Gliem et al. 2019) hat bereits auf den Mangel an Daten für die effektive Überwachung des Projektfortschrittes hingewiesen.

Die Dauer eines logistischen Prozesses wird von zahlreichen, aufgrund der Komplexität der Wirkzusammenhänge, nicht oder nur bedingt kalkulierbaren Faktoren und Parametern beeinflusst. Daher erfolgt die Planung von Logistikprozessen oft auf Grundlage von Schätzungen, was die Einplanung von Zeitpuffern zur Reduzierung des Risikos während des Baustellenbetriebs zur Folge hat. Aufgrund des Mangels an Daten und der individuellen Produktbeschaffenheit werden diese Puffer häufig großzügig bemessen. Die Erfassung von Daten während der Anlagenmontage kann dazu beitragen, diese Wissenslücke zu schließen (Gliem et al. 2019). Zudem können diese Daten dazu dienen, den Fortschritt der logistischen Prozesse zu überwachen. Die frühzeitige Erkennung von Verzögerungen ermöglicht es, die Größe der einzuplanenden Puffer zu optimieren.

Im Produktionskontext werden Daten bereits umfassend erfasst und als sogenannter "Digitaler Schatten", der eine virtuelle Echtzeitabbildung der Produktion darstellt (Bauernhansl et al. 2016), verwendet. Ein solcher Digitaler Schatten kann ebenfalls für den Baustellenbetrieb von Vorteil

sein. Daher zielt dieses Forschungsprojekt darauf ab, ein semantisches Modell des Digitalen Schattens für Logistikprozesse zur und auf der Baustelle zu entwickeln. Die Herausforderung besteht darin, die erforderlichen Daten zu identifizieren, um die relevanten Baustellenlogistikprozesse angemessen digital abzubilden. Durch die Auswahl der richtigen Daten in angemessener Granularität kann die entstehende Lücke im Digitalen Schatten nach der Produktion geschlossen werden. Es ist jedoch zu beachten, dass die betrachtete Branche, der Maschinen- und Anlagenbau, von KMU dominiert wird (Heidmann 2015), die oft einen niedrigen Digitalisierungsgrad aufweisen. Die Akzeptanz neuer digitaler Lösungen ist gering, wenn die Datenerfassung mit hohem Aufwand verbunden ist. Daher ist es entscheidend, dass die notwendigen Technologien zur Datenidentifikation, -erfassung und -übertragung auf der Baustelle weitgehend automatisch oder zumindest teilautomatisch erfolgen. Schließlich müssen die erfassten Daten so aufbereitet und bereitgestellt werden, dass beispielsweise im Projektmanagement leicht auf sie zugegriffen werden kann, um die Daten zu analysieren und angemessen auf auftretende Schwierigkeiten bei der Umsetzung der Logistikprozesse zu reagieren.

2.2 Forschungsziel und angestrebte Ergebnisse

Basierend auf der in Abschnitt 2.1 dargelegten Problemstellung ist das zentrale Ziel des Forschungsprojektes die Entwicklung eines semantischen Modells. Dieses Modell soll es dem Projektmanagement im Maschinen- und Anlagenbau ermöglichen, den aktuellen Fortschritt und Zustand eines Projektes auf der Baustelle zu jeder Phase zu überwachen. Ein wesentlicher Aspekt dieses Vorhabens ist die Schaffung einer umfassenden, interoperablen Infrastruktur, die die Daten von der Baustelle erfasst, in einem semantischen Modell eines Digitalen Schattens ablegt und für das Projektmanagement zugänglich macht. Dafür werden eine Vorgehensmethodik sowie Schablonen zur Auswahl geeigneter Datenidentifikations-, Datenerfassungs- und Datenübertragungstechnologien entwickelt. Die Konzeption dieser Infrastruktur und ihre Umsetzung als Demonstrationsplattform werden in Abbildung 2-1 veranschaulicht. Hierbei sind drei Ebenen zu identifizieren:

1) Datenbasis: Daten zur Erfassung von Logistikprozessen

Für eine detaillierte Darstellung des Projektfortschritts und -zustands sind Daten erforderlich, die den Verlauf der durchgeführten Logistikprozesse im Projekt dokumentieren. Diese Daten können verschiedene Formen annehmen, wie beispielsweise GPS-Daten (Global Positioning System) mit Zeitstempeln, Informationen zu Arbeits- und Prozesszeiten über mobile Anwendungen, Lagerbuchungen zur Fortschrittskontrolle oder Positionsdaten auf der Baustelle zur lokalen Ortung von Bauteilen.

Für die Erfassung der Daten werden Technologieschablonen zur Auswahl geeigneter Technologien entwickelt. Die Datenerhebung erfolgt, soweit möglich, automatisiert, um das Personal zu entlasten. Dies ermöglicht eine effiziente Sammlung der erforderlichen Informationen und trägt

dazu bei, die Zugänglichkeit und Verfügbarkeit der Daten zu verbessern. Diese strategische Herangehensweise zielt darauf ab, die Hürden der begrenzten Digitalisierungskapazitäten in den beteiligten Unternehmen zu überwinden und somit eine zuverlässige Datengrundlage für das semantische Modell bereitzustellen.

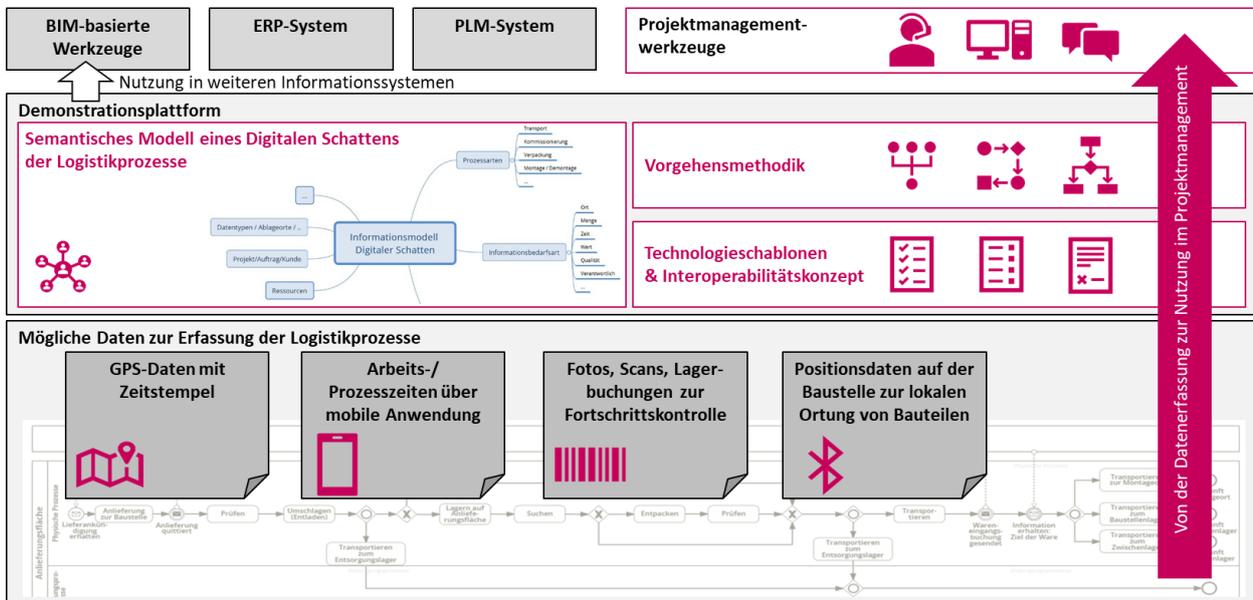


Abbildung 2-1: Projektkonzept

2) Demonstrationsplattform: Semantisches Modell, Vorgehensmodell, Technologieschablonen und Interoperabilitätskonzept

Das semantische Modell des Digitalen Schattens für Logistikprozesse agiert als Datenspeicher für die erfassten Daten und setzt diese in Beziehung zueinander. Das zunächst allgemeingültige Modell kann an verschiedene Anwendungsfälle angepasst werden. Um die Adaption erfolgreich in einem Unternehmensumfeld umzusetzen, wird ein spezifisches Vorgehensmodell entwickelt. Dieses Vorgehensmodell erleichtert die Anpassung des ursprünglich allgemeingültigen semantischen Modells an die individuellen Anforderungen eines Unternehmens.

Zudem werden Technologien für die Datenerfassung, -identifikation und -übertragung implementiert. Hierbei werden bewährte Technologieoptionen gezielt umgesetzt. Die Kompatibilität der einzelnen Technologien wird durch die Verwendung von vorgefertigten Technologieschablonen sichergestellt. Diese Schablonen beschreiben etablierte Technologiekombinationen für die Identifikation, Erfassung und Übertragung von Daten, die bereits erfolgreich zusammenwirken und somit eine nahtlose Integration gewährleisten.

Ein weiteres Element ist das Interoperabilitätskonzept. Neben den Technologien, die die Fortschrittsdaten von der Baustelle erfassen und übermitteln, kann ein Datenaustausch mit verschiedenen betrieblichen Informationssystemen notwendig sein. Angesichts der Vielzahl an verknüpfbaren Systemen ist ein Interoperabilitätskonzept von entscheidender Bedeutung. Dieses Konzept

legt Schnittstellen und Übertragungsprotokolle fest, um eine reibungslose Übermittlung und Verarbeitung der auf der Baustelle erfassten Daten hin zu den Informationssystemen zu gewährleisten. Dabei ist die richtige Verwendung der Daten in dem Informationsmodell von großer Relevanz, da diese für die sichere Datenspeicherung und -verknüpfung sorgt und die methodische Basis des Digitalen Schattens darstellt.

3) Nutzung: Anbindung von Informationssystemen

Die Verwertung der gesammelten Daten kann innerhalb verschiedener Informationssysteme, wie beispielsweise einem Enterprise Resource Planning (ERP) oder einem Product Lifecycle Management (PLM) System, in Werkzeugen zum Building Information Modeling (BIM) oder im Projektmanagement erfolgen. Hierzu ist die Anbindung dieser Systeme an das semantische Modell zur Nutzung der Daten aus dem Modell erforderlich. Im Rahmen des Projektes erfolgt die Umsetzung der Anbindung von Werkzeugen fallbeispielbezogen mit Fokus auf das Projektmanagement. Insgesamt wird die Praxisrelevanz der zu entwickelnden Lösungen als ausschlaggebend angesehen, um eine hohe Akzeptanz der eingeführten Technologien zu gewährleisten und somit eine nachhaltige Anwendung sicherzustellen.

2.3 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

Das semantische Modell des Digitalen Schattens für die Logistikprozesse im Bereich Maschinen- und Anlagenbau stellt eine Möglichkeit dar, echtzeitnahe Projektdaten und -informationen in die Projektplanung nahtlos zu integrieren. Der innovative Beitrag dieses Ansatzes liegt in der ganzheitlichen Abdeckung der Bereiche Datenerfassung, Datenaufbereitung und -speicherung sowie Datennutzung (siehe Abbildung 2-1 in Abschnitt 2.2). Durch die gezielte Identifikation fehlender Daten bei der Projektfortschrittsbeschreibung und die anschließende Einführung von (teil-)automatisierten Technologien für die Datenerhebung wird das Projektmanagement in Echtzeit über den Projektstatus informiert, während gleichzeitig das eingebundene Personal von Kommunikationsaufgaben entlastet werden kann.

Die allgemeingültige Umsetzung des semantischen Modells auf Basis einer Ontologie erlaubt die Anpassung der beschriebenen Datenbeziehungen an projekt- und unternehmensspezifische Anforderungen. Das entwickelte Vorgehensmodell erleichtert die Einführung des ontologiebasierten Informationsmodells auch für KMU und schafft eine verbesserte Digitalisierung der Logistikkette. Zusätzlich bieten Technologieschablonen und ein fundiertes Interoperabilitätskonzept einen unkomplizierten Zugang zu den Technologien, die zur Datenidentifikation, -erfassung und -übertragung benötigt werden.

Durch die nahtlose Verbindung der Kombination aus Datenidentifikation, -erfassung und -übertragung mit den Werkzeugen des Projektmanagements wird eine aufwandsarme Möglichkeit geschaffen, die Überwachung des Projektfortschritts sowohl für das ausführende Personal auf der

Baustelle als auch für die Planungsabteilung sicherzustellen. Eine Demonstrationsplattform veranschaulicht die praktische Umsetzung dieser Verbindung zwischen Projektmanagement und Baustelle. Durch die Allgemeingültigkeit des semantischen Modells sowie des Vorgehensmodells ist es möglich, die Ergebnisse nach Projektende in anderen Branchen einzusetzen.

2.4 Lösungsweg zur Zielerreichung

Zur Erreichung der in Abschnitt 2.2 formulierten Projektziele müssen drei Kernelemente umgesetzt werden:

1. ein Modell zur Abbildung der zu erfassenden relevanten logistischen Informationen, das unter Nutzung einer Ontologie die semantischen Zusammenhänge zwischen den logischen Prozessen und dem Informationsbedarf für das Projektmanagement formal beschreibt und somit die Basis für einen Digitalen Schatten der logistischen Prozesse zur Nutzung im Projektmanagement darstellt
2. eine Methodik zur Bewertung von Technologien für eine Datenidentifikation, -erfassung und -übertragung zu logistischen Prozessen
3. eine Vorgehensmethodik mit Technologieschablonen und Interoperabilitätskonzept zum Aufbau, zur Umsetzung und zur Einführung der Lösungen für die Realisierung eines Digitalen Schattens der Logistikprozesse im Maschinen- und Anlagenbau zur Anwendung im Projektmanagement

Diese Kernelemente werden in einer Demonstrationsplattform als beispielhafte Implementierung von Technologieschablonen für unterschiedliche Anwendungsszenarien zusammengeführt, um eine hinreichende Evaluation der Ergebnisse zu erreichen. Zudem werden alle Arbeiten durch Industrieunternehmen im PA begleitet, um Nutzen, Praktikabilität und Übertragbarkeit der Methodik zu gewährleisten. In Abbildung 2-2 sind die einzelnen Arbeitsschritte sowie ihre Verknüpfungen dargestellt.

In Arbeitsschritt (AS) 1 werden die für das Projekt relevanten Logistikprozesse systematisiert. Dazu werden die relevanten Logistikprozesse analysiert, verallgemeinert und ihr Ablauf modelliert. Der Schwerpunkt der Modellierung liegt auf der Abbildung der Informationsflüsse, die parallel zu den physischen Prozessen ablaufen. Hierbei werden zunächst relevante Vorarbeiten aus der Literatur sowie aus vorangegangenen Projekten der beteiligten Forschungseinrichtungen bewertet und auf ihre Eignung für das Forschungsvorhaben geprüft. Ergänzend werden die identifizierten Logistikprozesse mittels Business Process Modeling and Notation (BPMN) modelliert.

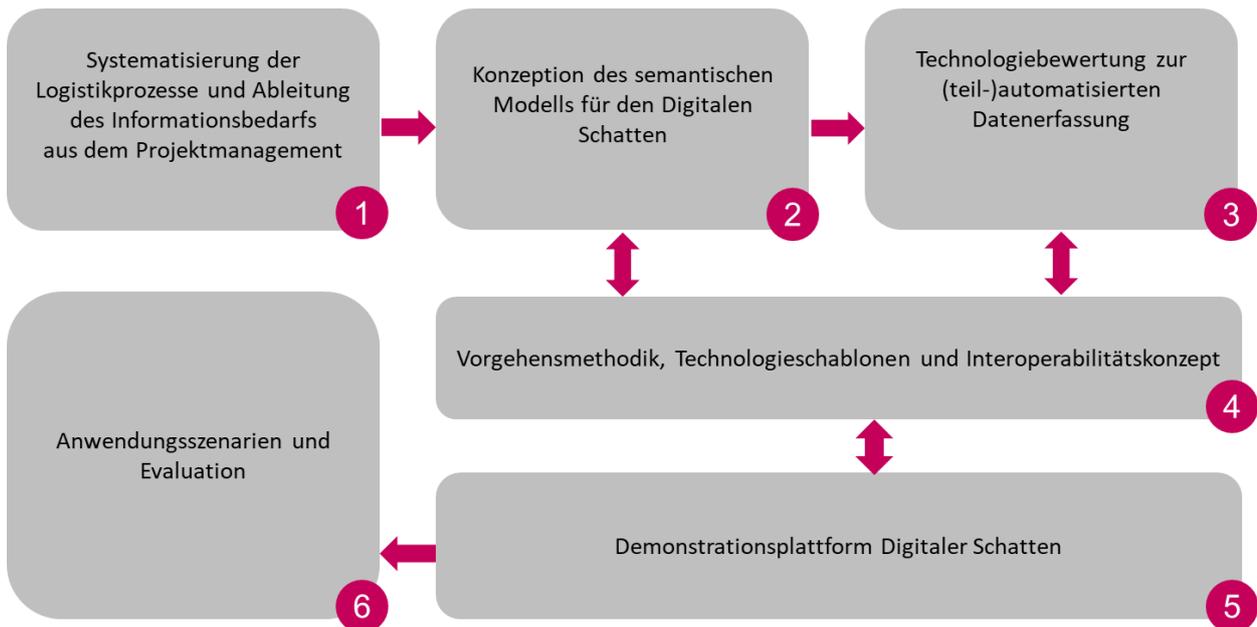


Abbildung 2-2: Arbeitsschritte im Projekt

In AS 2 wird ein semantisches Modell für den Digitalen Schatten konzeptioniert, das in der Lage ist, die in AS 1 identifizierten Informationen abzubilden und zu speichern. Als Grundlage wird hierfür ein Begriffsnetz definiert, auf dem das Modell aufbaut. Das semantische Modell wird mit Hilfe einer Ontologie (siehe dazu Abschnitt 3.3) umgesetzt.

Die Identifikation und Bewertung von Technologien zur (teil-)automatisierten Datenerfassung erfolgt in AS 3. Basierend auf relevanten Technologien aus der Literatur werden eine Systematisierung und anwendungsbezogene Beschreibung der Technologien umgesetzt und in einem Technologiekatalog zusammengestellt. Für eine einordnende Bewertung der Technologien werden Kriterien definiert, anhand derer die geeigneten Technologien für den Einsatz auf der Baustelle bei der Datenidentifikation, -erfassung oder auch -übertragung ausgewählt werden können.

In AS 4 soll die Methodik um Vorgehensmodelle, Technologieschablonen sowie ein Interoperabilitätskonzept ergänzt werden. Die Vorgehensmodelle beschreiben den Vorgang der Adaption des ontologiebasierten Informationsmodells für ein konkretes Unternehmen sowie den Ablauf zur Auswahl von geeigneten Technologien für die Datenidentifikation, -erfassung und -übertragung. Häufig verwendete Technologien können über Technologieschablonen vordefiniert werden. Zudem wird ein Interoperabilitätskonzept erstellt, das die Verknüpfung der betrieblichen Informationsmodelle der Unternehmen mit dem ontologiebasierten Modell ermöglicht.

Zur Verdeutlichung der methodischen Ergebnisse werden diese in AS 5 in einer Demonstrationsplattform zusammengeführt, damit in AS 6 eine Evaluation der Ergebnisse anhand von Anwendungsszenarien erfolgen kann.

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.

3.1 Digitaler Schatten im Kontext Industrie 4.0

Der Begriff "Digitaler Schatten" gewinnt im Kontext von Industrie 4.0 zunehmend an Bedeutung. In der Literatur wird der Digitale Schatten zum einen als virtuelles Abbild der physischen Produktionsumgebung, deren Daten in Echtzeit erfasst und aktualisiert werden, beschrieben (Bauernhansl et al. 2016; Bruhn 2023; Richter et al. 2023). Hierbei ist vor allem die Art der Datenauswahl und -aufnahme, der Datentransfer, notwendige Datenformate und die notwendige Datengranularität festzulegen. Letztere beschreibt, inwieweit die Daten verdichtet wurden. Zum anderen werden Digitale Schatten als „kleine, digital interagierende Objekte bezeichnet“ (Richter et al. 2023, S. 501). Jene verdichten die Datenströme und sorgen durch zielgerichtete Auf- und Verarbeitung für eine Anpassung der Visualisierung der Daten an verschiedene Nutzerperspektiven. Schuh et al. (2020) definieren den Digitalen Schatten als „eine Menge von Modellen und Datenspuren“. Diese enthalten neben dem reinen Datensatz ebenso kontextbeschreibende Metadaten zum entsprechenden Verwendungszweck. Die Datenspuren werden demnach entweder für eine Analyse oder einen bestimmten Zweck erzeugt sowie ausgewertet.

Als Konzept bezieht sich der Digitale Schatten auf eine virtuelle Abbildung der physischen Produktionsumgebung, die in Echtzeit erfasst und aktualisiert wird (Bauernhansl et al. 2016). Diese Datenbasis ermöglicht eine Überwachung, Analyse und Optimierung aktueller Zustände von Produktionsprozessen, Ressourcen und Produkten. In der Industrie 4.0 steht die Vernetzung von Maschinen, Anlagen und Systemen im Vordergrund (Kagermann 2013); der Digitale Schatten stellt dabei eine wichtige Komponente dar, da er die Grundlage für eine datengetriebene Steuerung und Optimierung bildet. Durch die kontinuierliche Erfassung von Daten entsteht eine digitalisierte Abbildung der realen Produktionsumgebung, die einen Einblick in aktuelle Prozesse ermöglicht. Diese Daten können aus verschiedenen Quellen stammen und über unterschiedliche Technologien, wie beispielsweise Sensoren, Kameras oder Radio-Frequency-Identification (RFID)-Tags, erfasst werden.

Auf der Grundlage des Digitalen Schattens sind Schlussfolgerungen in Bezug auf vergangene Ereignisse mittels deskriptiver Analyse möglich. Im zweiten Schritt (Diagnostic Analytics) werden die Datensätze auf Korrelationen sowie Beziehungen analysiert. Anschließend sind mittels Predictive Analytics unter Bezugnahme von statistischen Modellen und Methoden Prognosen zu er-

stellen. Im letzten Schritt (Prescriptive Analytics) erfolgt die Ableitung von Handlungsempfehlungen mittels Optimierungsalgorithmen und Simulationsansätzen (Schuh et al. 2016; Stich, Hering 2015).

Ein zentrales Merkmal des Digitalen Schattens ist seine Echtzeitfähigkeit. Echtzeitfähige Daten ermöglichen eine schnelle Reaktion auf Veränderungen oder Störungen in der Produktion. Beispielsweise können Maschinenausfälle oder Qualitätsabweichungen sofort erkannt und entsprechende Maßnahmen unverzüglich eingeleitet werden, um Produktionsausfälle zu minimieren. Die Integration des Digitalen Schattens in den Produktionsprozess eröffnet zahlreiche Anwendungsfelder; eine bedeutende Rolle spielt er in der vorausschauenden Wartung (Predictive Maintenance). Durch die Analyse von historischen Daten und laufenden Sensordaten kann der Zustand von Maschinen und Anlagen prognostiziert werden. Aufgrund dieser Vorhersagen können Wartungsarbeiten geplant und unnötige Stillstandzeiten vermieden werden.

Der Digitale Schatten dient auch als Datenquelle für den sogenannten Digitalen Zwilling (siehe dazu beispielsweise: Kuhn 2017; Grieves, Vickers 2017; Borschert, Rosen 2016). Hierbei wird der Digitale Schatten eines Produkts, eines Prozesses oder einer Ressource für virtuelle Modelle genutzt, die alle relevanten Eigenschaften und Verhaltensweisen des realen Systems enthalten. Die umfassenden historischen Daten und Echtzeitdaten aus dem Digitalen Schatten ermöglichen z. B. Vorhersagen durch Simulationen oder Optimierungen, ohne die physischen Objekte direkt zu beeinflussen. Durch die Verknüpfung des Digitalen Zwillings mit dem Digitalen Schatten wird ein umfassendes Verständnis der physischen Welt ermöglicht. Die zunehmende Digitalisierung und Vernetzung der Industrie erfordern jedoch auch den sorgfältigen Umgang mit den generierten Daten. Datenschutz und Datensicherheit sind hierbei zentrale Aspekte, um sensible Unternehmensinformationen zu schützen.

Neben der Produktion kann der Digitale Schatten auch die **Logistikprozesse** unterstützen. Die Echtzeitüberwachung z. B. von Lagerbeständen oder Transporten schafft eine effiziente Steuerung der Lieferkette. Durch die Integration von Daten aus der gesamten Wertschöpfungskette können Engpässe und Verzögerungen rechtzeitig erkannt und behoben werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Digitale Schatten im Kontext von Industrie 4.0 eine essenzielle Rolle spielt. Als dynamische Datenbasis schafft er die Voraussetzungen für datenbasierte Entscheidungen, die Optimierung von Prozessen und die Schaffung neuer Geschäftsmöglichkeiten. Seine Echtzeitfähigkeit ermöglicht eine agile und flexible Steuerung der Produktion und Logistik, wodurch Unternehmen wettbewerbsfähiger werden und den Herausforderungen einer zunehmend vernetzten Welt besser begegnen können.

3.2 Datenerhebung auf der Baustelle

In der Maschinen- und Anlagenbaubranche ist es üblich, dass die endgültige Montage der Produkte oft im Rahmen der Baustellenmontage erfolgt. Dies bedeutet, dass das Material für das Produkt sowie ein Großteil der benötigten Arbeits- und Arbeitshilfsmittel zunächst zum Standort der Montage transportiert werden müssen (Burggräf et al. 2021; Westkämper 2006). Während des Montageprozesses auf der Baustelle werden Arbeiten zudem häufig manuell ausgeführt, wodurch nur begrenzt digitale Informationen erfasst werden.

Für die Datenerhebung werden zwei Ansätze unterschieden: Verfolgung und Nachverfolgung. **Verfolgung** bezieht sich auf die kontinuierliche Dokumentation der Eigenschaften von Ressourcen oder Objekten während ihres Einsatzes und darüber hinaus (DIN EN 62264-3:2017). Im Gegensatz dazu konzentriert sich die **Nachverfolgung** auf vergangene Ereignisse und Prozesse (Schuh et al. 2013a). Dabei können bereits während der Verfolgung gesammelte Daten und Informationen verwendet werden. In beiden Fällen erfolgt die Erfassung von Daten, was als „Entnahme von Daten realer Prozesse nach definierten Anforderungen [...]“ (Hansen 1987, S. 434) beschrieben wird. Die Prozesse der Datenerfassung werden je nach Automatisierungsgrad unterschieden: Während bei manueller Datenerfassung der Automatisierungsgrad gering ist und ein Großteil der Arbeit durch Personal durchgeführt werden muss, erfordert die automatisierte Datenerfassung kein menschliches Eingreifen.

Für die Datenerfassung können verschiedene Methoden und Technologien zum Einsatz kommen. Bei der **manuellen Datenerhebung** nimmt das Personal vor Ort Informationen über handschriftliche Notizen, Checklisten oder Formulare auf. Diese Methode kann jedoch zeitaufwendig sein und das Risiko von Fehlern in der Dateneingabe bergen. Eine Möglichkeit für die **teilautomatische Datenerhebung** ist der Einsatz von mobilen Geräten, wie Tablets oder Smartphones. Spezielle Apps ermöglichen es beispielsweise den Monteurinnen und Monteuren, Daten in Echtzeit zu erfassen, Bilder hochzuladen, Kommentare hinzuzufügen und Standortinformationen zu integrieren. Dies bietet den Vorteil einer schnelleren Datenerfassung und einer direkten Verbindung zwischen Baustelle und Projektmanagement. Der Einsatz von Sensoren ist z. B. eine Methode zur **automatischen Datenerhebung** auf Baustellen. Sensoren können an verschiedenen Stellen auf der Baustelle installiert werden, um Daten zu Temperaturen, Bewegungen und anderen relevanten Parametern zu sammeln. Diese Echtzeitdaten ermöglichen es, Probleme frühzeitig zu erkennen und präventive Maßnahmen zu ergreifen.

Generell kann der Zeitpunkt der Datenerhebung unterschiedlich festgelegt werden. Bei einem ereignisgesteuerten Verfahren werden Messereignisse definiert, wobei im Vorhinein bestimmte Vorgänge als signifikant in Bezug auf das Ziel der Beobachtung auserwählt werden. Tritt ein solches Ereignis ein, aktiviert dieses den Datenerfassungsmechanismus, sodass ein das Ereignis

beschreibender Datensatz mit Ereigniszeitpunkt erzeugt wird. Im Gegensatz dazu erfolgt bei zeitgesteuerten Verfahren die Datenerfassung in periodisch zeitlichen Abständen. Hierbei werden typischerweise Statusinformationen erfasst, die nachgelagerten Systemen zur Verfügung gestellt werden müssen. Die ereignisgesteuerte Methode ermöglicht eine vollständige Rekonstruktion von Abläufen, während durch die zeitgesteuerte Variante statistische Aussagen möglich sind. (Herzog et al. 1987)

Die erfassten Daten werden in Echtzeit oder in regelmäßigen Intervallen an eine zentrale Plattform übertragen. Diese Plattform ermöglicht es, die Daten zu analysieren, zu visualisieren und zu interpretieren. Data Mining (Runkler 2010; Gabriel et al. 2009) und maschinelles Lernen (Frochte 2018) können verwendet werden, um Muster und Trends in den Daten zu identifizieren, die bei der Planung zukünftiger Projekte und der Verbesserung von Arbeitsprozessen hilfreich sein können. Maschinelles Lernen ermöglicht vor allem computergestütztes Anlegen von Auswertungsalgorithmen zur automatisierten Datenanalyse (Baur, Blasius 2019). Unter Zuhilfenahme von Data Mining können aus Daten Informationen - möglichst effizient - extrahiert werden.

Die Datenerhebung auf der Baustelle bringt jedoch auch Herausforderungen mit sich. Dazu gehört die Gewährleistung der Datenqualität, die Sicherstellung des Datenschutzes und die Integration der gesammelten Daten in bestehende Informationssysteme. Zudem erfordert die erfolgreiche Nutzung der gesammelten Daten ein umfassendes Verständnis der Prozesse auf der Baustelle und eine klare Strategie für die Datennutzung.

Insgesamt spielt die Datenerhebung auf der Baustelle eine entscheidende Rolle im Maschinen- und Anlagenbau. Sie ermöglicht eine datengetriebene Entscheidungsfindung, verbessert die Effizienz der Montageprozesse und trägt zur kontinuierlichen Verbesserung der Projektdurchführung bei. Die Nutzung von Technologien und Methoden zur Datenerhebung wird im Projektmanagement einen positiven Einfluss haben, weil es die Art und Weise, wie Projekte geplant, ausgeführt und überwacht werden, grundlegend verändert.

3.3 Strukturierung von Daten in einem semantischen Modell

Um aus den auf der Baustelle erhobenen Daten Wissen zu generieren, müssen mehrere Schritte durchlaufen werden. Diese Schritte beschreibt Ackoff (1989) in seinem Modell der „Wissenspyramide“. Diese besteht aus vier Ebenen: Die unterste Ebene bilden die Daten, darüber liegen Informationen, gefolgt von Wissen und von Weisheit (auch als Aktion oder Handeln bezeichnet) in der Spitze. Durch bestimmte Handlungen ist es möglich, von einer Ebene auf die nächsthöhere zu gelangen. So ist es beispielsweise möglich, durch die Interpretation von Daten Informationen zu erhalten. Hierbei erhalten Daten eine Bedeutung (Semantik). Im Umkehrschluss können Informationen durch Daten codiert werden (Rowley 2007).

Eine Möglichkeit zur Strukturierung und Speicherung von Daten bietet das Konzept der *Ontologie*. Der Begriff stammt aus dem Griechischen und bezeichnet in der Philosophie die „Lehre des Seienden“ (Furrer 2014, S. 308). Nachdem der Begriff in der Neuzeit durch die Informatik übernommen wurde (Pickert 2016), wird eine Ontologie als Weg verstanden, um durch die formale Definition relevanter Begriffe sowie ihrer Beziehungen untereinander, ein gemeinsames Verständnis eines bestimmten Gebiets zu erzeugen (Busse et al. 2014). Eine Ontologie kann als semantisches Begriffsnetz angesehen werden, das es mittels formaler Definitionen und Beziehungsbeschreibungen ermöglicht, Daten als Informationen nutzbar zu machen. Sie bietet eine Möglichkeit, Daten strukturiert zu speichern und diesen eine eindeutige Bedeutung zu geben. So wird garantiert, dass die abgelegten Informationen von allen darauf zugreifenden Systemen und Instanzen im richtigen Kontext verstanden und interpretiert werden.

Für die Erstellung einer Ontologie werden verschiedene Komponenten benötigt. Zunächst muss die relevante Domäne definiert werden. Während diese kein Bestandteil der Ontologie ist, ist es jedoch wichtig, sie konkret zu benennen, um ein späteres gemeinsames Verständnis der Ontologieinhalte sicherzustellen. Eine Domäne beschreibt ein Wissensgebiet und begrenzt somit das Einsatzgebiet der Ontologie (Taxor 2017). Aus der identifizierten Domäne können relevante Begriffe in einem Glossar zusammengestellt werden, eine Beschreibung der Begriffsbeziehungen findet jedoch noch nicht statt. Zunächst kann in einer Taxonomie die Hierarchie der Begriffe festgelegt werden, indem Ober- und Unterklassen sowie Vererbungsbeziehungen definiert werden (Haarmann 2014; Dengel 2012). Zur Sicherstellung der Abdeckung aller relevanten Begriffe der Domäne kann ein Thesaurus genutzt werden, um weitere Begriffsbezeichnungen und Beziehungen zu finden (Krcmar 2015). Den Inhalt der Ontologien bilden Instanzen, die mit Hilfe der im Glossar gesammelten Begriffe benannt werden (Durak et al. 2014). Die Instanzen sind den in der Taxonomie definierten Klassen- und Vererbungsbeziehungen zugeordnet, bei Instanzen handelt es sich um konkrete Objekte aus der realen Welt, nicht nur um Begriffs- oder Klassenbeschreibungen. Zur weiteren Beschreibung der Instanzen werden Attribute genutzt, die die Eigenschaften der Instanz beschreiben. Mit Hilfe von Relationen werden einzelne Instanzen miteinander verknüpft (Haarmann 2014).

Aufgrund der hohen Flexibilität, die das Konzept der Ontologie bei der Formalisierung von Informationen bietet, existiert eine große Anzahl an Ausführungen, die sich stark unterscheiden. Es existieren daher verschiedene Möglichkeiten, Ontologien zu klassifizieren (wie beispielsweise nach Guarino 1997). So lassen sich Ontologien unter anderem anhand ihres Spezialisierungsgrades (also dem Detaillierungsgrad ihrer Informationen) unterscheiden. Als allgemeinste Form der Ontologien können die Top-Level-Ontologien gesehen werden. Derartige Ontologien beziehen sich nicht nur auf eine bestimmte Domäne. Für einzelne Domänen gibt es die sogenannten

Domänen-Ontologien, die gezielt das Wissen aus einem Interessensbereich beschreiben. Alternativ kann das für die Lösung eines spezifischen Problems notwendige Wissen in einer Aufgaben-Ontologie beschrieben werden. Soll in einer Ontologie lediglich das Wissen einer bestimmten Domäne für die Lösung einer spezifischen Aufgabe beschrieben werden, handelt es sich um die spezifische Form der Ontologie, eine sogenannte Anwendungsontologie.

Für die Darstellung und Beschreibung von Ontologien kommen standardisierte Modellierungssprachen zum Einsatz. Neben dem Resource Description Framework Schema (RDFS) (W3C-RDFS 2014), das sowohl Syntax als auch Vokabular für die Beschreibung von Ontologien bietet, gibt es die Web Ontology Language (kurz OWL) (W3C-OWL 2012). Letztere baut auf ersterer auf und hat sich zum heutigen Standard für die Erstellung und Beschreibung von Ontologien entwickelt (Dengel 2012; Hitzler et al. 2008). Um die Erstellung und Entwicklung von Ontologien zu vereinfachen und zu beschleunigen, wurden Ontologieeditoren eingeführt, wie beispielsweise Protégé® (Protégé 2023). Sie ermöglichen es, Instanzen, Attribute und Beziehungen mittels graphischer Oberflächen zu erstellen und auf Richtigkeit und korrekte Logik zu überprüfen. Zusätzlich sind sie in der Lage, Ontologien übersichtlich zu visualisieren, indem z. B. die Beziehungen der Instanzen abgebildet werden. Für den Einsatz einer Ontologie als Datenbank ermöglicht es der Server Apache Jena Fuseki (Fuseki 2023), eine Ontologie in das Web zu laden, sodass sie für Abfragen und Updates verfügbar wird. Als Sprache für Abfragen und Updates hat sich SPARQL Protocol and Resource Description Framework Query Language (SPARQL) etabliert (W3C-SPARQL 2013). Auch in Protégé® können mittels SPARQL Anfragen an die Ontologie gestellt werden (Dengel 2012; Stuckenschmidt 2011). Eine Interaktion von Ontologien mit anderen Anwendungen und damit die Integration in bestehende Strukturen kann auf diese Weise realisiert werden.

4 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In diesem Kapitel werden in Abschnitt 4.1 der Ablauf des Forschungsprojektes 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 sechs Arbeitsschritten. Die sechs AS mit ihrem jeweiligen Ressourcenbedarf in Personenmonaten sowie der zeitliche Verlauf ihrer Bearbeitung werden in Abbildung 4-1 dargestellt. Insgesamt gibt es vier Meilensteine zur Prüfung erreichter Teilergebnisse:

- Spezifikation der zu betrachtenden Logistikprozesse einschließlich der Informationsflüsse sowie Informationsbedarfe für das Projektmanagement (Monat 6),
- ontologiebasiertes semantisches Modell eines Digitalen Schattens für Logistikprozesse sowie Vorgehensmodell zur Technologiebewertung (Monat 12),
- zur Evaluation nutzbare Demonstrationsplattform Digitaler Schatten (Monat 19),
- evaluierte Anwendungsszenarien, Vorgehensmodell und Technologieschablonen zur Umsetzung eines Digitalen Schattens (Monat 23).

Arbeitsschritte (Verantwortlichkeit)	1. Jahr												2. Jahr												Personenmonate		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	gesamt	Kassel	Zwickau
AS 1 - Systematisierung der Logistikprozesse und Ableitung des Informationsbedarfs aus dem Projektmanagement (Kassel)	■	■	■	■	■	■																			6	4	2
AS 2 - Konzeption des semantischen Modells für den Digitalen Schatten (Kassel)																									10	7	3
AS 3 - Technologiebewertung zur (teil-)automatisierten Datenerfassung (Zwickau)																									8	2	6
AS 4 - Vorgehensmethodik, Technologieschablonen und Interoperabilitätskonzept (Kassel)																									10	5	5
AS 5 - Demonstrationsplattform Digitaler Schatten (Zwickau)																									6	2	4
AS 6 - Anwendungsszenarien und Evaluation (Kassel)																									6	3	3
Meilensteine						◆						◆												◆	46	23	23

Abbildung 4-1: Arbeitsdiagramm des Forschungsvorhabens und Ressourcenbedarf

AS 1 – In AS 1 werden zunächst die logistischen Prozesse der KMU im Maschinen- und Anlagenbau systematisiert und mittels BPMN modelliert. Dazu werden die Systemgrenzen festgelegt und die logistischen Prozesse (Anlieferung und Versorgung, Anlieferung, Beschaffungs- und Baustellenlager, Zwischenlager, (Vor-)Montage und Einbaustelle und Entsorgung und Rückführung auf ihre Basisprozesse heruntergebrochen (Transportieren, Kommissionieren, Prüfen, Puffern, Umschlagen, Suchen, Lagern). Besonderer Fokus liegt auf der Modellierung der Informations- und Kommunikationsebene. Der prozessbegleitende Informationsfluss wird mittels einer semi-strukturierten Expertenbefragung und einer umfassenden Literaturanalyse ermittelt. Die Ergebnisse aus den Experteninterviews wurden dokumentiert und die konkreten Informationsbedarfe zu den Logistikprozessen erfasst. Alle Logistikprozesse und deren Erweiterung um Informations-

und Kommunikationsprozesse (IuK-Prozesse) liegen mittels BPMN modelliert vor (Nachrichten- und Datenflüsse sowie Technologien zur Datenspeicherung).

Die im Projekt festgelegten Systemgrenzen, die logistischen Prozesse und beispielhaft der Basisprozess „Transportieren“ inklusive seiner IuK-Prozesse werden den Mitgliedern des PA (Liste der Industrieunternehmen siehe Anhang A) bei der **zweiten Sitzung am 25.11.2021** vorgestellt und anschließend diskutiert. Alle vollständig modellierten Basisprozesse werden im Rahmen des 3. PA-Meetings am 02.03.2022 abschließend vorgestellt.

AS 2 – In Vorbereitung des Digitalen Schattens der Logistikprozesse für den Baustellenbetrieb des Maschinen- und Anlagenbaus wird in AS 2 auf Basis der erarbeiteten Ergebnisse aus AS 1 ein allgemeingültiges semantisches Modell konzipiert. Es verortet sich als Verbindungselement zwischen den auf der Baustelle erfassten Daten und dem Projektmanagement. Für die Entwicklung des semantischen Modells wird ein Ontologieansatz gewählt, der die gewonnenen Erkenntnisse bündelt und eine strukturierte Darstellung der fachspezifischen Terminologien sowie ihrer Zusammenhänge ermöglicht. Mit Hilfe einer Literaturrecherche werden bestehende Ontologien für die Domäne Logistik analysiert und für die Verwendung im Projektkontext bewertet und anschließend in Anlehnung an Fernandez-Lopez et al. (1997) ein eigenes Ontologiedesign entworfen. Das Konzept wird den PA-Mitgliedern erstmalig beim 2. PA-Meeting am 25.11.2021 vorgestellt und beim **3. PA-Meeting am 02.03.2022** diskutiert.

AS 3 – Nahezu parallel zu AS 2 erfolgt in AS 3 eine systematische Identifikation geeigneter Technologien zur möglichst automatisierten Erfassung von Logistikdaten für den Baustellenbetrieb im Maschinen- und Anlagenbau. Zunächst werden Datenidentifikations-, Datenerfassungs- und Datenübertragungstechnologien in einer umfassenden Literaturanalyse identifiziert und anschließend klassifiziert. Für jede Technologie wird ein Steckbrief angefertigt; dieser umfasst eine kurze Beschreibung, Vor- und Nachteile sowie den typischen Einsatzort; alle Steckbriefe werden als Technologiekatalog abgelegt. In einer weiteren Literaturrecherche werden Bewertungskriterien identifiziert, anhand derer sich Technologien vergleichen lassen.

Mittels einer zweistufigen Delphi-Studie (von den PA-Mitgliedern **beim 3. PA-Meeting am 02.03.2022** festgelegt) werden 17 mit „sehr hoch“ bewertete Kriterien identifiziert und für den weiteren Projektverlauf berücksichtigt. Anschließend werden alle Technologien des Technologiekatalogs literaturgestützt bewertet und eine geeignete Ausprägung für jedes relevante Bewertungskriterium ausgewählt. Die Ergebnisse liegen in Form einer Technologiematrix vor. Beruhend auf dem Filterprozess wird ein Anforderungsprofil konzipiert, durch dessen Anwendung aus 330 technisch möglichen Technologieketten (eine Kombination aus Identifikations-, Erfassungs- und

Übertragungstechnologie) die technisch sinnvollen Ketten identifiziert werden. Aus diesen werden in dem Vorgehensmodell, abhängig vom angelegten Anforderungsprofil, relevante Technologieketten gefiltert.

Die Zwischenergebnisse werden beim **4. PA-Meeting am 22.06.2022** vorgestellt und diskutiert. Die vollständig entwickelte Methodik wird beim **5. PA-Meeting am 18.10.2022** vorgestellt und anschließend in Einzelgesprächen mit drei Mitgliedern des PA anhand definierter Evaluationskriterien bewertet.

AS 4 – In AS 4 werden sechs Vorgehensmodelle konzipiert, die eine Adaption und Nutzung des im Projekt entwickelten Lösungsvorschlags an die unternehmensspezifische Anwendung ermöglichen. Bei den Vorgehensmodellen wird unterschieden zwischen Vorgehensmodellen zur Adaption (ein Vorgehensmodell) und Vorgehensmodellen bei der Nutzung der Demonstrationsplattform (fünf unterschiedliche Vorgehensmodelle). Die Vorgehensmodelle bei der Nutzung werden entsprechend der Funktionsbereiche der Demonstrationsplattform und der rollenspezifischen Nutzung (Projektmanager, Monteur) unterschieden. Eines der Vorgehensmodelle beschreibt den Ablauf zur Auswahl von geeigneten Technologien für die Datenidentifikation, -erfassung und -übertragung. Häufig verwendete Technologien werden als Technologieschablonen gekennzeichnet und in das semantische Modell übertragen.

Mit dem Interoperabilitätskonzept wird ein Ansatz modelliert und in Auszügen technisch umgesetzt, der die Kommunikation, die Interaktion, den Datenaustausch und die Zusammenarbeit der unternehmensspezifischen Ontologie auf dem Fuseki-Server, der Dataject-Anwendung und betrieblicher Informationssysteme ermöglicht. Das betriebliche Informationssystem wird im Rahmen des Projektes aus Lizenzgründen als Microsoft Excel® Makro, geschrieben in Visual Basic for Applications (VBA), nachgebildet, um den direkten Datenaustausch zwischen Microsoft Excel® und der Dataject-Anwendung zu erproben. Vorgehensmodelle, Technologieschablonen und das Interoperabilitätskonzept werden beim **6. PA-Meeting am 15.03.2023** vorgestellt und diskutiert.

AS 5 – Unter Nutzung der Vorarbeiten aus den AS 1 – AS 4 wird eine lauffähige Demonstrationsplattform für den Digitalen Schatten mit drei Funktionsbereichen entwickelt: a) Technologieauswahl, b) Dateneingabe und c) Datenausgabe. Neben der Konzeption der Architektur und der Ableitung des Funktionsumfangs aus den Anforderungen werden User Stories aus den Anforderungen des PA abgeleitet, der Datenfluss modelliert, ein Use Case Diagramm zur Festlegung der involvierten Rollen und ein Sequenzdiagrammen je Funktionsbereich der Demonstrationsplattform erstellt. Mit diesen Vorarbeiten liegen alle Bestandteile zur Nutzung der Demonstrationsplattform vor. Die in AS 2 entwickelte Ontologie wird unter Zuhilfenahme der Vorgehensmodelle und des Interoperabilitätskonzeptes (beide in AS 4 entwickelt) prototypisch mit verschiedenen

Systemen verknüpft, sodass ein Datenaustausch durchführbar ist und die Demonstrationsplattform getestet werden kann. Das Mockup der Demonstrationsplattform wird beim **6. PA-Meeting am 15.03.2023** vorgestellt.

AS 6 – In AS 6 werden gemeinsam mit den PA-Mitgliedern Anwendungsfälle für den Einsatz der Demonstrationsplattform diskutiert und systematisiert. Erste Gespräche werden bereits mit Beginn des AS 3 geführt, um Wünsche und Anforderungen seitens der Anwenderunternehmen/Wirtschaft frühzeitig in der Entwicklung zu berücksichtigen. Als relevante Anwendungsfälle werden zwei Szenarien identifiziert: Anwendungsfall 1 – Arbeitszeiterfassung der Monteure auf der Baustelle; Anwendungsfall 2 – Tracking von Arbeits(hilfs-)mitteln auf der Baustelle. In AS 6 werden die Evaluation der Demonstrationsplattform und die Projektevaluation durchgeführt.

Die Evaluation der Demonstrationsplattform erfolgt in Einzelinterviews, wobei den an der Evaluation Teilnehmenden die Demonstrationsplattform durch das Projektteam vorgestellt wird. Die Evaluation erfolgt im Nachgang unter Verwendung eines Online-Fragebogens. Die Ergebnisse der Evaluation der Demonstrationsplattform werden beim **7. PA-Meeting am 22.05.2023** abschließend vorgestellt. Im Nachgang des Meetings erfolgt eine abschließende Projektevaluation ebenfalls via Online-Fragebogen. Die Ergebnisse der Projektevaluation werden zum Ende der Projektlaufzeit an die PA-Mitglieder versandt.

Alle Ergebnisse der AS 1 - AS 6 werden über die gesamte Projektlaufzeit dokumentiert. Erreichte Ergebnisse werden in Publikationsorganen diskutiert und präsentiert (siehe dazu Transfermaßnahmen in 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 sechs Arbeitsschritten des Projektes (siehe Abschnitt 4.1).

4.2.1 Gesamtkonzept

Das Gesamtkonzept fokussiert die Notwendigkeit einer zuverlässigen Datenbasis für das Projektmanagement, die auf der Baustelle jedoch häufig nicht gegeben ist, weil Logistikdaten nicht erfasst werden (siehe Abschnitt 3.2). Ein Digitaler Schatten soll logistikrelevante Daten (teil-)automatisch erfassen, persistent speichern und – in diesem Fall – dem Projektmanagement zur Verfügung stellen. Alle Komponenten zur Umsetzung und Nutzung eines Digitalen Schattens sind in Abbildung 4-2 zusammengefasst.

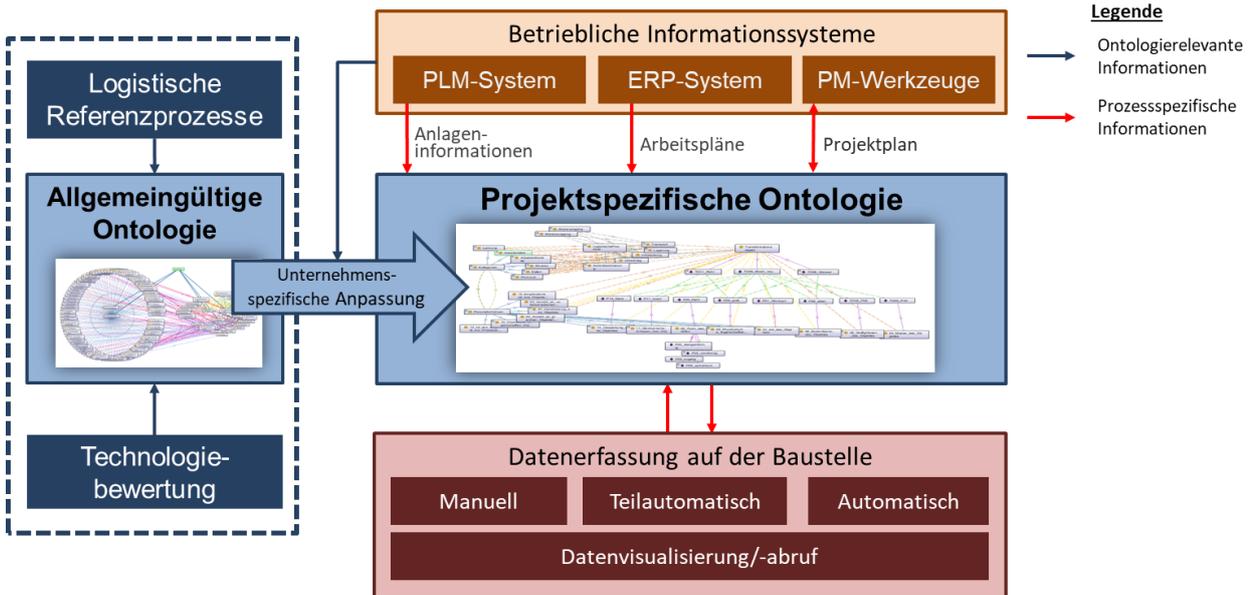


Abbildung 4-2: Konzept zur Umsetzung und Nutzung eines Digitalen Schattens für auf der Baustelle erhobene Logistikdaten (Wenzel et al. 2022)

Zentraler Gegenstand des Konzeptes ist ein semantisches Modell, in dem alle prozessbezogenen Informationen bereitgestellt werden. Um fachspezifische Terminologien und deren semantische Zusammenhänge geordnet darzustellen, wurde der Ontologieansatz (siehe dazu Abschnitt 3.3) gewählt (siehe Abschnitt 4.2.7). Die Ontologie ist zunächst allgemeingültig und umfasst alle Informationen über Logistikreferenzprozesse (siehe Abschnitt 4.2.2), verknüpft diese und setzt sie in Beziehung zueinander. Ebenfalls sind Leistungsparameter und Restriktionen von Technologien zur Identifikation, Erfassung und Übertragung in der Ontologie abgelegt, die bei der Technologieauswahl für den Einsatz auf der Baustelle (siehe Abschnitt 4.2.4 bis 4.2.6) unterstützen.

Da jedes Unternehmen und Projekt eigene Besonderheiten mit sich bringen, die in einer allgemeingültigen Ontologie nicht abgebildet werden können, werden unternehmens- und projektspezifische Anforderungen bei der Anpassung der Ontologie berücksichtigt (siehe Abschnitt 4.2.12). Die dafür relevanten Informationen können – soweit vorhanden – aus vorhandenen Informationssystemen, wie PLM- oder ERP-Systemen sowie allen weiteren im Projektmanagement verwendeten Werkzeugen und Anwendungen, entnommen werden (vgl. Abbildung 4-2). Die anschließend vorliegende unternehmensspezifische Ontologie stellt den zentralen Verbindungspunkt zwischen den auf der Baustelle erfassten Daten und den verwendeten Projektmanagementwerkzeugen dar.

Die Datenerfassung auf der Baustelle erfolgt je nach Technologie (z. B. Scanner, Kamera oder Ortungssystem) manuell oder (teil-)automatisch, wobei eine hohe Akzeptanz der Technologie-nutzung nur durch einen minimalen Aufwand der Mitarbeitenden auf der Baustelle erreicht werden kann. Die erfassten Daten werden z. B. kabellos über Wireless Local Area Network (WLAN) oder Mobilfunk bzw. kabelgebunden über Local Area Network (LAN) der Ontologie zur Verfügung

gestellt, um anschließend betriebliche Informationssysteme anhand der Informationen von der Baustelle zu aktualisieren und Anweisungen, wie z. B. Änderung der Montagepläne und Ressourcenzuteilung für Mitarbeitende oder Werkzeuge, auf die Baustellen zurückzugeben.

Das Konzept wurde in Wenzel et al. (2022) veröffentlicht und ist in Form einer Demonstrationsplattform umgesetzt und evaluiert worden. Die Entwicklung und Anwendung der Demonstrationsplattform wird in den Abschnitten 4.2.9 bis 4.2.14 beschrieben.

4.2.2 Systematisierung und Spezifikation von Logistikprozessen auf der Baustelle

Für den Aufbau eines Digitalen Schattens von Logistikprozessen auf der Baustelle wird auf evaluierte Logistikreferenzprozesse aus den Forschungsprojekten SimCast (Gliem et al. 2019) und BIMlog (Stolipin et al. 2020) zurückgegriffen. Logistikreferenzprozesse sind standardisierte Abläufe und Vorgehensweisen in der Logistikbranche, die als Richtlinien und Best Practices dienen. Sie stellen eine Art Leitfaden dar, um logistische Aktivitäten effizient und reibungslos durchzuführen (Wenzel 2000). Die hier betrachteten Logistikreferenzprozesse sind innerhalb der in Abbildung 4-3 aufgeführten Systemgrenze angesiedelt:

- Beschaffungs- und Versorgungslogistik: Transport von Material und Arbeits(hilfs-)mitteln zur Baustelle
- Baustellenlogistik: Bereitstellung von Material und Arbeits(hilfs-)mitteln auf der Anlieferungsfläche, bei Bedarf Einlagerung im Baustellen- und/oder Zwischenlager, Montage- bzw. Einbau und Inbetriebnahme des Produktes unter Zuhilfenahme von Arbeits(hilfs-)mitteln
- Entsorgungs- und Rückführungslogistik: Entsorgung von Abfällen und Rückführung von wiederverwendbaren Materialien sowie Arbeits(hilfs-)mitteln

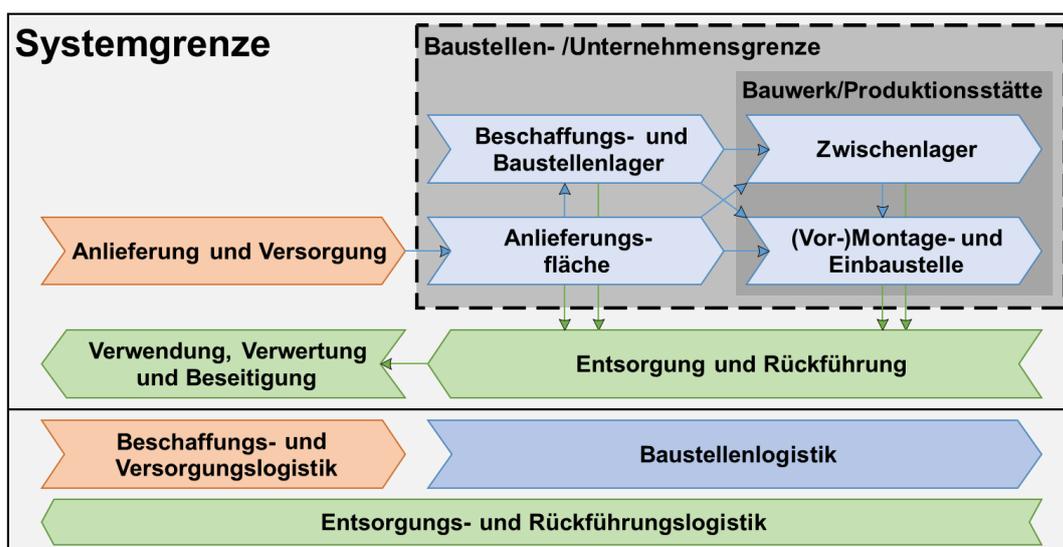


Abbildung 4-3: Systemgrenze

Für die einzelnen Bereiche auf der Baustelle (Anlieferungsfläche, Beschaffungs- und Baustellenlager, Zwischenlager, (Vor-)Montage- und Einbaustelle sowie Entsorgung und Rückführung) liegen modellierte Logistikreferenzprozesse vor, die aus verschiedenen logistischen Basisprozessen bestehen (siehe Anhang B). Unter einem logistischen Basisprozess werden grundlegende Abläufe zur Durchführung logistischer Aufgaben im Unternehmen verstanden. In Anlehnung an Hömberg et al. (2007) werden folgende Logistikprozesse betrachtet: Transportieren, Umschlagen, Puffern, Lagern, Kommissionieren, Prüfen sowie Ver- und Entpacken. Durch eine Aneinanderreihung von logistischen Basisprozessen lässt sich der physische Materialfluss in einem Referenzprozess abbilden, der für den Maschinen- und Anlagenbau allgemeingültig ist. Für die Prozessmodellierung wird analog zu den Vorarbeiten in den Forschungsprojekten simject (Gutfeld et al. 2015), SimCast (Gliem et al. 2019) und BIMlog (Stolipin et al. 2020) die graphische Notationssprache BPMN gewählt, die mit Flussobjekten (Aktivitäten = Aufgaben/Aktionen, Ereignisse = Zustände/Bedingungen, Gateways = Entscheidungspunkte/Verzweigungen), Verbindungen zwischen den Flussobjekten und Artefakten (Kennzeichnung von Informationen/Notizen) arbeitet (ISO/IEC 19510:2013). In Abbildung 4-4 ist beispielhaft der Referenzprozess für den Bereich „Anlieferungsfläche Baustelle“ dargestellt.

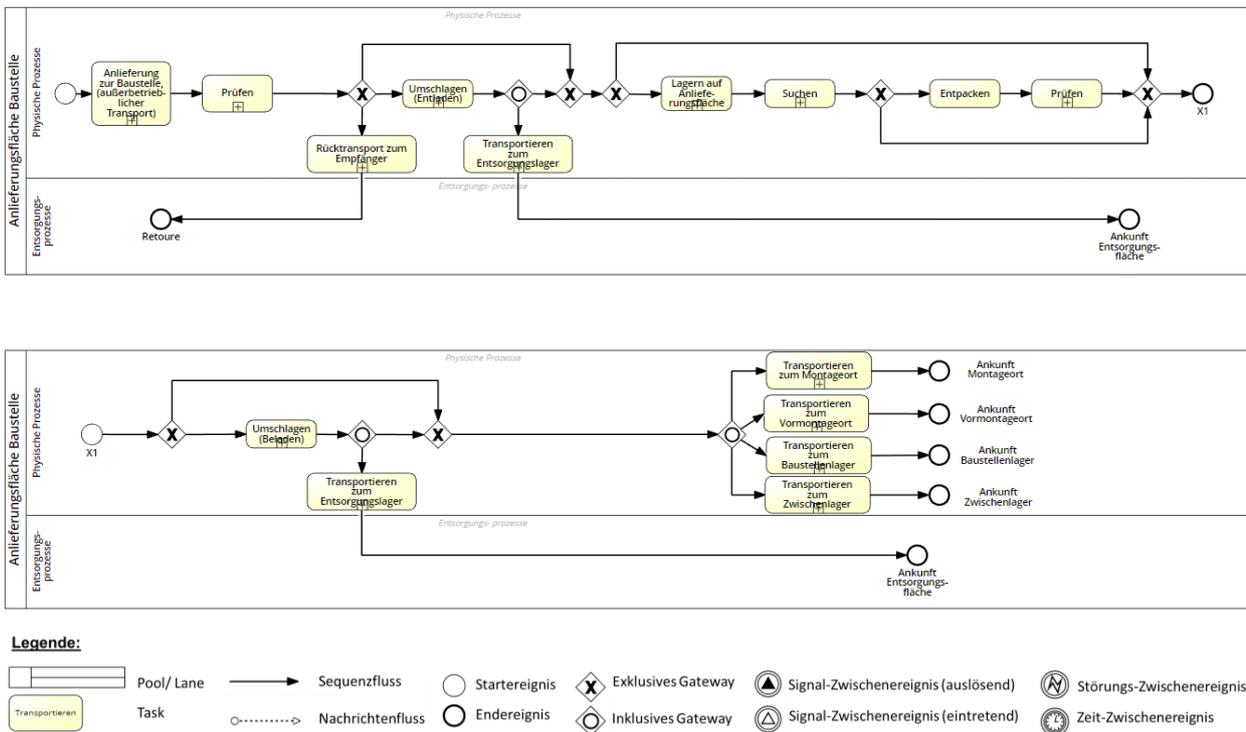
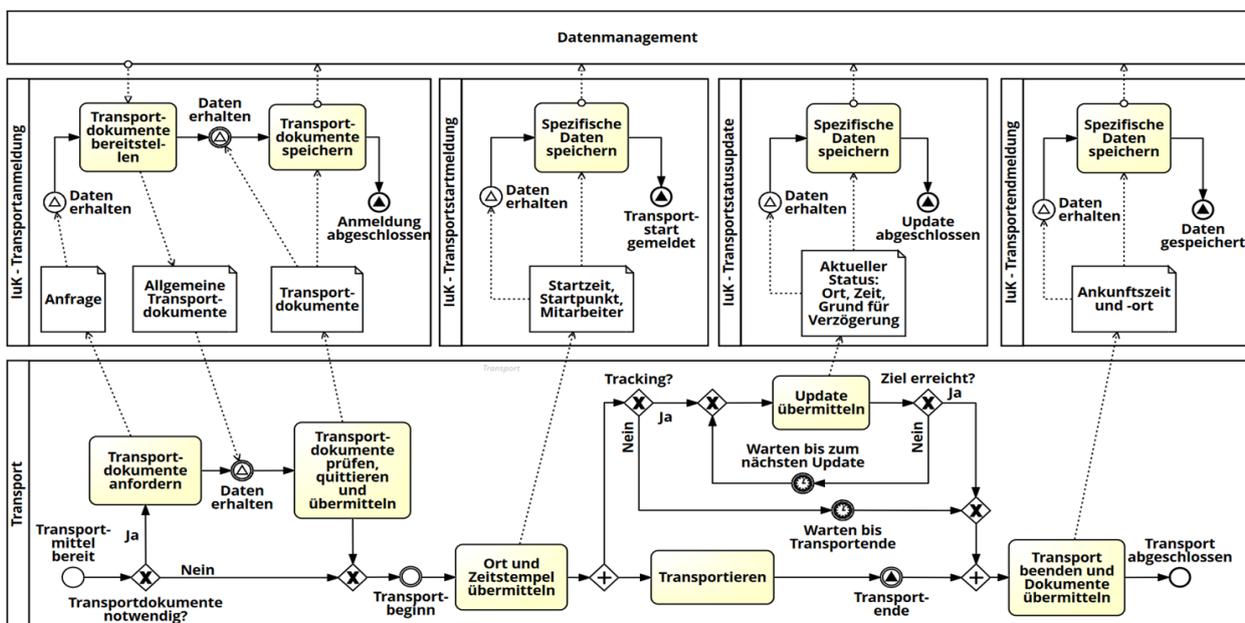


Abbildung 4-4: Referenzprozess „Anlieferungsfläche Baustelle“

Die physischen Prozesse werden durch Entsorgungsprozesse ergänzt und bilden den Übergang zu dem Referenzprozess „Entsorgung und Rückführung“. Die Allgemeingültigkeit für den Maschinen- und Anlagenbau wird durch inklusive und exklusive Gateways sichergestellt, sodass sich

eine Vielzahl potentieller Prozessabläufe abbilden lässt. Die Endereignisse beschreiben zum einen das Prozessende oder stellen den Übergang zum nächsten Bereich dar. Weitere Referenzprozesse sind im Anhang C einzusehen.

Den physischen Prozess begleiten IuK-Prozesse, die erst in den einzelnen logistischen Basisprozessen wiederzufinden sind. Nach Sichtung einschlägiger Literatur (siehe z. B. Schoepflin et al. 2021; Poenicke et al. 2019; Soffer et al. 2019) werden für die logistischen Basisprozesse sowohl physische Prozesse als auch IuK-Prozesse modelliert, die in den Forschungsprojekten simject (Gutfeld et al. 2015), SimCast (Gliem et al. 2019) und BIMlog (Stolipin et al. 2020) nicht in der hier erforderlichen Detailtiefe zur Beschreibung eines Digitalen Schattens betrachtet worden sind. In Abbildung 4-5 ist beispielhaft der logistische Basisprozess „Transport“ dargestellt, der nach abgeschlossener Beladung beginnt. Bei optionaler Anmeldung des Transportes können die Transportdokumente angefordert, geprüft, quittiert und übermittelt werden. Zu Transportbeginn werden Startzeit und -ort protokolliert und persistent gespeichert. Parallel zum eigentlichen Transportvorgang können aktuelle Statusmeldungen über den Transportvorgang gespeichert werden, wie Standort, Uhrzeit oder mögliche Gründe für Verzögerungen (zum Tracking siehe Hausladen 2016). Bei Abschluss des Transportes werden Ankunftszeit und -ort erfasst und übermittelt. Alle Aktivitäten können durch Störungen verzögert oder nicht ausgeführt werden; die Abweichungen von geplanten Soll-Prozessen sind im Datenmanagement auf Basis der aktuellen Statusmeldungen sofort erkennbar, was im Projektmanagement schnelle Reaktionszeiten ermöglicht.



Legende:

- Pool/ Lane
- Transportieren Task
- Sequenzfluss
- Nachrichtenfluss
- Startereignis
- Endereignis
- Exklusives Gateway
- Inklusives Gateway
- Signal-Zwischenereignis (auslösend)
- Signal-Zwischenereignis (eintretend)
- Störungs-Zwischenereignis
- Zeit-Zwischenereignis

Abbildung 4-5: Logistischer Basisprozess „Transport“

Die Vollständigkeit der logistischen Basisprozesse sind in semi-strukturierten Experteninterviews bei den produzierenden Unternehmen Venjakob Maschinenbau GmbH & Co. KG, Beumer Group GmbH & Co. KG und OKEL GmbH & Co. KG, die das Forschungsvorhaben begleiten, geprüft worden. Dabei wurde im ersten Teil der modellierte Prozess vorgestellt und geprüft, ob dieser die physischen Logistikprozesse im Unternehmen abbildet. Im zweiten Teil sind die IuK-Prozesse diskutiert und der Informationsbedarf für das Projektmanagement abgefragt worden. In diesem Zuge konnte zunächst geklärt werden (Teil 2a), welche Daten zu Logistikprozessen erfasst werden, wo diese im Prozessablauf anfallen, welche Technologien zur Datenerfassung, -speicherung und -übertragung im Einsatz sind und welche Informationen aus den Daten zur Nutzung im Projektmanagement generiert werden. Weiterhin wurde diskutiert (Teil 2b), welche Daten für das Projektmanagement fehlen und welche Technologien aus Sicht des Unternehmens in welchen Prozessen zum Einsatz kommen sollen. Aus der Lücke zwischen dem Ist- und gewünschten Soll-Zustand sind abschließend konkrete Anwendungsfälle für die Unternehmen identifiziert worden (Teil 3), die in Abschnitt 4.2.3 vorgestellt werden.

Nach Auswertung der Interviews ergeben sich insgesamt drei Bedarfe aus dem Projektmanagement. Der erste Bedarf befasst sich mit der Frage, wie sinnvolle Technologien für den Einsatz auf der Baustelle identifiziert werden können (siehe Abschnitt 4.2.4 bis 4.2.6). Wenn bekannt ist, wie Logistikdaten auf der Baustelle erfasst werden können, und Projektdaten zu einem aktuellen Projekt vorliegen, dann ergibt sich der zweite Bedarf, wie Logistikdaten als Digitaler Schatten persistent gespeichert und für die Wiederverwendung bereitgestellt werden können (siehe Abschnitt 4.2.7 und 4.2.8). Dem schließt sich der dritte Bedarf an, wie die Logistikdaten zur weiteren Verwendung abgerufen werden können. Hierzu werden Lösungsansätze in Form einer Demonstrationsplattform ab Abschnitt 4.2.9 ausgearbeitet.

Anhand neu gewonnener Erkenntnisse aus der Praxis sind die logistischen Basisprozesse weiter spezifiziert worden. Somit liegt nicht nur eine Prozessbeschreibung mit Aktivitäten in ihrer sequenziellen Abfolge mit entsprechenden Abhängigkeiten vor, sondern auch eine detaillierte Liste mit Informationen, die als semantisches Modell einen Digitalen Schatten von Logistikprozessen beschreiben. In Tabelle 4-1 sind die Informationen zu dem logistischen Basisprozess „außerbetrieblicher Transport“ wie z. B. Name und Adresse (vom Absender, Frachtführer, Empfänger), Datum und Ort (der Ausstellung, Warenübernahme, Tracking, Warenablieferung) oder Menge sowie Gewicht des Gutes, aufgeführt und ergänzt, für welche Dokumente diese Informationen relevant sind. Die Spezifikationen aller anderen logistischen Basisprozesse werden in Anhang D aufgeführt. Unter Berücksichtigung der anfallenden Daten während der Prozessausführung erfolgt in Abschnitt 4.2.7 die Konzeptionierung der Ontologie.

Tabelle 4-1: Spezifikation des logistischen Basisprozesses „außerbetrieblicher Transport“

Dokumente	Informationen	Daten	Einheit
Frachtbrief:	Name und Adresse von Absender	Name	
		Adresse	
	Name und Adresse von Frachtführer	Name	
		Adresse	
	Name und Adresse von Empfänger	Name	
		Adresse	
	Ausstellungsdatum und Ausstellungsort des Dokuments	Datum	
		Ort	
	Datum und Ort der Warenübernahme	Datum	
		Ort	
	Zeitstempel aktueller Ort und Datum (Tracking)	Datum	
		Ort	
	Datum und Ort der Warenablieferung	Datum	
		Ort	
	Art der Ware (Gefahrgut)	Text	
	Art der Verpackung	Text	
	Anzahl, Zeichen und Nummern der Frachtstücke	Menge	Stk
		Text	
das Rohgewicht oder die anders angegebene Menge des Gutes, die bis zur Ablieferung anfallenden Kosten sowie ein Vermerk über die Frachtzahlung	Gewicht	kg	
	Betrag	€	
den Betrag einer bei der Ablieferung des Gutes einzuziehenden Nachnahme	Betrag	€	
	Text		
Vorgaben zur Art der Beförderung	Text		
Arbeitshilfsmittel	Art		
	Kennzeichen		
Arbeitsmittel	Art		
Analysezertifikat	Chemische Zusammensetzung	Text	
Zolldokument	Zollinformationen	Text	
Gewichtszertifikat	Gewicht des Transportes	Gewicht	kg
Ursprungszeugnis	Herkunft	Text	

4.2.3 Identifikation von Anwendungsfällen

Mit Hilfe eines Anwendungsfalls lassen sich Funktionalitäten eines Systems spezifizieren und dokumentieren. Jeder Anwendungsfall bekommt zunächst einen prägnanten Namen zur Identifikation und umfasst folgende Elemente: (1) Beteiligte Akteure (z. B. Benutzer, Komponenten), (2) spezifisches Ziel, das der Anwendungsfall erreichen soll, (3) Voraussetzungen zum Start des Anwendungsfalls, (4) Ablauf, der die auszuführenden Aktionen schrittweise beschreibt, und (5) das erwartete Ergebnis nach Abschluss des Anwendungsfalls.

Gemeinsam mit Anwendungspartnern des PA werden im Rahmen semi-strukturierter Experteninterviews (siehe Abschnitt 4.2.2) zwei Anwendungsfälle als relevant für das Projekt bewertet. Der erste Anwendungsfall zur Arbeitszeiterfassung wird in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen Venjakob Maschinenbau GmbH & Co. KG ausgearbeitet und umfasst die manuelle Dateneingabe zur Erfassung von Arbeitszeiten auf der Baustelle. Aktuell erfolgt die Erfassung der Arbeitszeiten manuell analog durch Notizen auf einem Auftragschein und somit häufig nur wochenweise kumuliert. Die Daten zu den Arbeitszeiten sollen zukünftig digital übermittelt werden.

Der zweite Anwendungsfall wird gemeinsam mit dem Unternehmen OKEL GmbH & Co. KG detailliert und umfasst die (teil-)automatische Datenerfassung zur Verfolgung von Arbeits(hilfs-)mitteln. Zurzeit fehlen immer wieder Arbeits(hilfs-)mittel auf der Baustelle oder verschwinden im schlimmsten Fall. Da der aktuelle Standort der Arbeits(hilfs-)mittel meist nicht bekannt ist, ist deren Planung für das Projektmanagement eine große Herausforderung. Durch eine Verfolgung der Arbeits(hilfs-)mittel wird ihr Aufenthaltsort jedoch transparent. Nachfolgend werden beide Anwendungsfälle anhand der zuvor aufgeführten Elemente beschrieben.

1. Anwendungsfall: Arbeitszeiterfassung auf der Baustelle

Die Arbeitszeiterfassung auf der Baustelle verbindet verschiedene Akteure miteinander, darunter Monteurinnen und Monteure vor Ort, ein ERP-System und mobile Endgeräte. Das Ziel dieses Anwendungsfalls ist, eine digitale Dateneingabe zu ermöglichen, um Arbeitszeiten auf der Baustelle tagesgenau zu erfassen und sie präzise konkreten Projekten und spezifischen Tätigkeiten zuzuweisen. Dazu müssen die Projekte im ERP-System angelegt sein und die Anwenderinnen und Anwender über ein entsprechendes Profil zur personenbezogenen Dateneingabe verfügen. Des Weiteren ist eine Verbindung zum Mobilfunknetz oder WLAN erforderlich.

Der Ablauf der Arbeitszeiterfassung gestaltet sich wie folgt: Zum Ende ihrer Arbeitszeit öffnen die Monteurinnen und Monteure auf einem mobilen Endgerät eine spezielle Anwendung und melden sich an. Anschließend erfassen sie ihre Arbeitszeit inklusive Arbeitsbeginn und -ende sowie Pausen. Die erfassten Arbeitszeiten werden dann verschiedenen Projekten zugeordnet und zusätzlich spezifischen Tätigkeiten innerhalb dieser Projekte zugewiesen. Sobald die Eingabe abgeschlossen ist, werden die Daten über das Mobilfunknetz oder WLAN an das ERP-System übermittelt.

Das Ergebnis dieser Arbeitszeiterfassung ist, dass die Arbeitszeiten digital vorliegen und mit den entsprechenden Projekt- und Tätigkeitszuweisungen verknüpft sind. Dies ermöglicht eine detaillierte Aufschlüsselung der Tätigkeitsaufwände bei der Pflege der Projekte. Zudem liegen valide Arbeitszeiten vor, die für die Lohnabrechnung verwendet werden können. Insgesamt trägt die digitale Erfassung der Arbeitszeiten zu einer effizienteren und genaueren Verwaltung der Baustellenaktivitäten bei.

2. Anwendungsfall: Verfolgung von Arbeits(hilfs-)mitteln auf der Baustelle

Für die Verfolgung von Arbeits- und Hilfsmitteln auf der Baustelle agieren die Arbeits- und Hilfsmittel selbst, das Personal vor Ort und ein ERP-System miteinander. Das Hauptziel dieses Anwendungsfalls ist es, eine transparente Ortung der Arbeits- und Hilfsmittel zu ermöglichen und sie dem jeweiligen Personal auf der Baustelle sowie konkreten Projekten zuzuweisen. Voraussetzung für das Tracking ist eine sorgfältige Projektplanung mit einer genauen Ressourcenzuordnung, sowohl für die Arbeits- und Hilfsmittel als auch für das Personal, um einen Soll-Ist-Abgleich

zu gewährleisten. Eine geeignete Datenerfassungstechnologie, wie GPS-Sensoren oder RFID-Tags, wird benötigt, um die Standorte der Arbeits- und Hilfsmittel zu ermitteln. Zudem ist eine Verbindung zum Mobilfunknetz oder WLAN erforderlich, um die erfassten Daten zu übertragen.

Der Ablauf der Verfolgung beginnt mit der Projektplanung, gefolgt von der Montage auf der Baustelle. Die Arbeits- und Hilfsmittel werden angeliefert und anschließend mit der geeigneten Datenerfassungstechnologie geortet. Die erfassten Daten werden mittels geeigneter Übertragungstechnologie übertragen. Sobald ein Monteur oder eine Monteurin auf der Baustelle eintrifft, erfolgt die Buchung der Nutzung des Arbeits- oder Hilfsmittels. Dabei wird der Soll-Standort mit dem Ist-Standort abgeglichen, und bei Abweichungen werden gegebenenfalls Rückfragen an die Nutzer gestellt. Das Ergebnis dieser Verfolgung ist die genaue Kenntnis der Standorte der Arbeits- und Hilfsmittel. Durch die transparente Ortung können die Arbeits- und Hilfsmittel leichter im Projektmanagement für neue Projekte geplant und eingesetzt werden. Das System ermöglicht eine effizientere Verwaltung der Ressourcen auf der Baustelle und trägt dazu bei, Engpässe und ineffiziente Nutzung von Arbeits- und Hilfsmitteln zu vermeiden.

Die betrieblichen Anforderungen der beiden Anwendungspartner, die mittels Experteninterviews erhoben und ausgewertet werden, fließen in die Gesamtentwicklung ein (vgl. ab Abschnitt 2.4.9).

4.2.4 Entwicklung eines Technologiekatalogs

Der Technologiekatalog stellt eine systematische Sammlung von Informationen über verschiedene Technologien dar und dient als umfassende und strukturierte Quelle für Informationen zu verschiedenen technologischen Lösungen. Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus, die entscheiden müssen, welche Technologien sie für die Erfassung von Logistikdaten auf der Baustelle implementieren oder in ihre Strategien einbeziehen sollen, können auf die umfassenden Informationen im Technologiekatalog zugreifen und nach Lösungen suchen, die ihren individuellen Anforderungen und Zielen am besten entsprechen. Die Datenerhebung ist ein kritischer Schritt im Datenmanagementprozess und beeinflusst maßgeblich die Qualität und Aussagekraft der gesammelten Daten für weiterführende Analysen. Ein wichtiger Aspekt bei der Datenerhebung ist die Art der Erhebung der Daten, bei der Daten durch manuelle Dateneingaben, automatisierte Sensoren, Umfragen Interviews oder anderen Quellen gezielt gesammelt werden (zur Primärerhebung siehe Homburg, Klarman 2003). Abhängig von der Datenquelle kann eine Datenerhebung nicht ohne Datenidentifikation erfolgen, bei der Daten eindeutig gekennzeichnet werden, um sie von anderen Datenelementen zu unterscheiden und sie für verschiedene Zwecke leichter zugänglich und verwendbar zu machen. Eine Erfassungstechnologie (z. B. ein Hand-sensor) benötigt beispielsweise eine Identifikationstechnologie (z. B. einen Barcode), um Daten für die weitere Verwendung auszulesen. Hierbei spielt die Datenübertragung eine weitere wichtige Rolle, die ein grundlegender Bestandteil der Informationsverarbeitung ist und den Austausch

von Informationen zwischen Computern, Geräten, Netzwerken oder anderen Speicherorten in digitaler Form ermöglicht (z. B. über das Mobilfunknetz 5G).

Der hier entwickelte Technologiekatalog umfasst somit Technologien, die zur Identifikation, Erfassung und Übertragung von Daten zu logistischen Prozessen zur und auf der Baustelle infrage kommen können. Jede Technologie wird in einem Steckbrief erläutert (siehe Reisch 2021), der eine detaillierte Beschreibung der Funktionsweise, der Eigenschaften, der Vorteile und Einschränkungen sowie Einsatzgebiete umfasst. Eine systematische Zusammenstellung von Technologien liegt durch eine umfassende Literaturrecherche in Anlehnung an Fink (2020) vor. Für die Literaturrecherche legt Fink (2020) Suchbegriffe fest, indem er Synonyme, Ober- und Unterbegriffe sowie verwandte Begriffe herausarbeitet und zu einem Suchstring unter Berücksichtigung boolescher Operatoren zusammenfasst. Um einen möglichst großen Einzugsbereich zu erhalten, werden die Metadatenbanken KARLA der Universität Kassel und Google Scholar sowie die Datenbank WISO zugrunde gelegt und Veröffentlichungen in deutscher oder englischer Sprache mit einem freien Zugang einbezogen. Aus insgesamt 54 Quellen können letztendlich Technologien übernommen werden, die in den Technologiekatalog einfließen. Alle Technologien sind entsprechend ihrer Eigenschaften in einem Organigramm strukturiert (zum Begriff Organigramm vgl. Borggräfe et al. 2019).

Die Identifikationstechnologien sind in Abbildung 4-6 einzusehen. Grundsätzlich lassen sich Identifikationstechnologien in Barcodes und RFID gliedern. Ein **Barcode** ist eine maschinenlesbare Darstellung von Informationen in Form von Strichen und Lücken, die auf Produkten, Etiketten oder anderen Objekten angebracht ist. Daten lassen sich somit automatisch und präzise erfassen, indem sie von speziellen optischen Scannern oder Barcode-Lesegeräten gelesen werden. Barcodes unterteilen sich noch in 1D-, 2D- und 3D-Barcodes, die jeweils unterschiedliche Dimensionen und Informationskapazitäten haben.

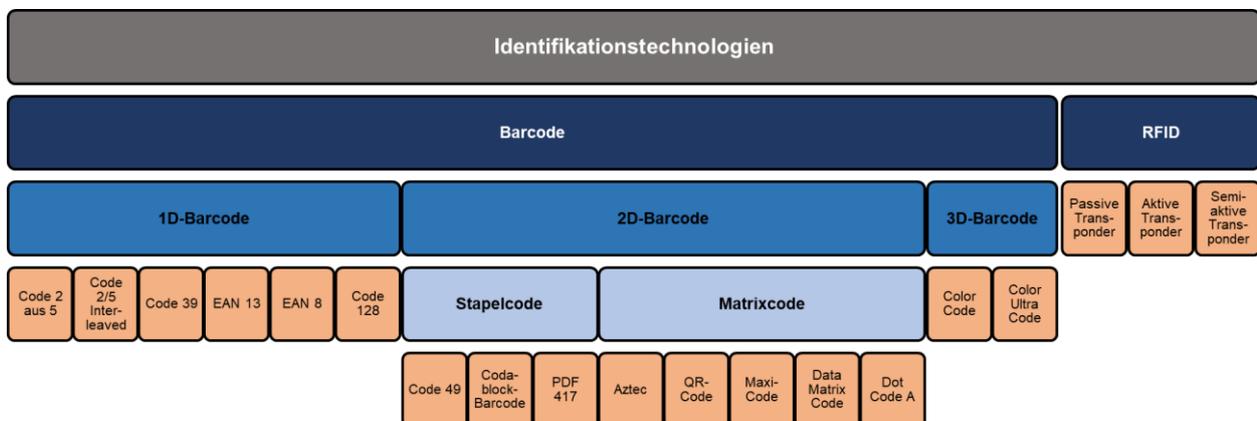


Abbildung 4-6: Identifikationstechnologien

Ein **1D-Barcode**, auch als eindimensionaler Barcode bekannt, besteht aus einer linearen Anordnung von Strichen und Lücken unterschiedlicher Breite. Diese Barcodes enthalten Informationen

in horizontaler Richtung und werden hauptsächlich zur Identifikation von Produkten und zum Speichern von begrenzten Daten wie Produktcodes, Seriennummern oder Preisen verwendet. Ein bekanntes Beispiel für einen 1D-Barcode ist der EAN-13-Barcode (EAN: European Article Number), der auf den meisten Produkten im Einzelhandel zu finden ist. Im Gegensatz zu 1D-Barcodes enthalten **2D-Barcodes** Informationen in zwei Dimensionen, d. h. sowohl in horizontaler als auch in vertikaler Richtung. Sie bestehen aus quadratischen oder rechteckigen Mustern aus Punkten, Quadraten oder anderen geometrischen Formen. 2D-Barcodes haben eine höhere Informationskapazität als 1D-Barcodes und können mehr Daten speichern, einschließlich alphanumerischer Zeichen, Sonderzeichen, Bilder oder sogar Verknüpfungen zu Webseiten. Beispiele für 2D-Barcodes sind Quick Response Codes (QR-Codes) und Data Matrix-Codes. Sie werden häufig für mobiles Marketing, Ticketing, Produktverfolgung und digitale Speicherung von Informationen verwendet. **3D-Barcodes** gehen noch einen Schritt weiter und ermöglichen die Kodierung von Daten in drei Dimensionen, wodurch sie Informationen in X-, Y- und Z-Achse speichern können. Im Gegensatz zu herkömmlichen flachen Barcodes werden 3D-Barcodes in dreidimensionalen Strukturen kodiert. Sie sind weniger bekannt und werden in spezialisierten Bereichen wie medizinischer Bildgebung, industrieller Prozesssteuerung oder in einigen High-Tech-Anwendungen eingesetzt. (vgl. auch Kern 2007; ten Hompel et al. 2008; Borsutzky 2017; Demant et al. 2011)

RFID ist eine Technologie, die es ermöglicht, Objekte oder Gegenstände drahtlos und berührungslos zu identifizieren und Informationen über eine Radiofrequenz zu übertragen. Die RFID-Technologie besteht typischerweise aus drei Hauptkomponenten. Ein RFID-Tag (auch Transponder genannt) ist ein kleiner Chip, der mit einer Antenne verbunden ist. Er enthält Informationen und Daten, die eindeutig das entsprechende Objekt oder den Gegenstand identifizieren. RFID-Tags können in verschiedenen Formen und Größen vorliegen, von kleinen Aufklebern bis hin zu größeren Karten oder Tags. Abhängig von der Stromversorgung wird zwischen passiven (keine interne Stromversorgung), aktiven (eingebaute Stromquelle, wie zum Beispiel eine Batterie) und semiaktiven (interne Stromquelle wird erst aktiviert, wenn von einem externen Lesegerät beleuchtet) Transpondern unterschieden; die Auswahl erfolgt abhängig von der benötigten Reichweite, der Einsatzumgebung und den Kostenbeschränkungen. Ein RFID-Lesegerät sendet eine Radiofrequenz aus und erfasst die Antworten der RFID-Tags, die sich in Reichweite befinden. Es enthält ebenfalls eine Antenne, die die Kommunikation mit den Tags ermöglicht. Die Daten, die vom RFID-Tag gesendet werden, werden vom Lesegerät erfasst und verarbeitet. Die Informationen, die vom RFID-Tag erfasst werden, werden in einer Datenbank gespeichert und können später abgerufen und analysiert werden. Die Datenbank enthält die Verknüpfung zwischen dem RFID-Tag und den Informationen des zugehörigen Objekts oder Gegenstands. Die Kommunikation zwischen RFID-Tags und -Lesegeräten erfolgt über elektromagnetische Wellen in verschiedenen

Frequenzbereichen. Es gibt verschiedene RFID-Technologien, die in verschiedenen Frequenzbereichen arbeiten, wie beispielsweise Low Frequency (LF), High Frequency (HF), Ultra-High Frequency (UHF) und Microwave. (vgl. u. a. ten Hompel et al. 2008; Wölker 2004; Franke et al. 2006; Fleisch, Mattern 2005)

Die Erfassungstechnologien sind in Abbildung 4-7 einzusehen. Diese lassen sich grundsätzlich in ortsfeste und mobile Technologien gliedern. Ortsfeste Erfassungstechnologien sind Technologien, die dazu dienen, Daten von festen oder stationären Standorten aus zu erfassen. **Ortsfeste Erfassungstechnologien** werden an festen Standorten installiert, um Informationen kontinuierlich oder gezielt zu sammeln. Sie spielen eine wichtige Rolle in verschiedenen Bereichen wie Sicherheit, Logistik, Industrie, Verkehr und Umweltüberwachung und ermöglichen eine effiziente und kontinuierliche Datenerfassung, Überwachung und Kontrolle an festen Standorten, was zu einer verbesserten Effizienz und Optimierung von Prozessen führen kann. (vgl. u. a. ten Hompel et al. 2008; Kern 2007)

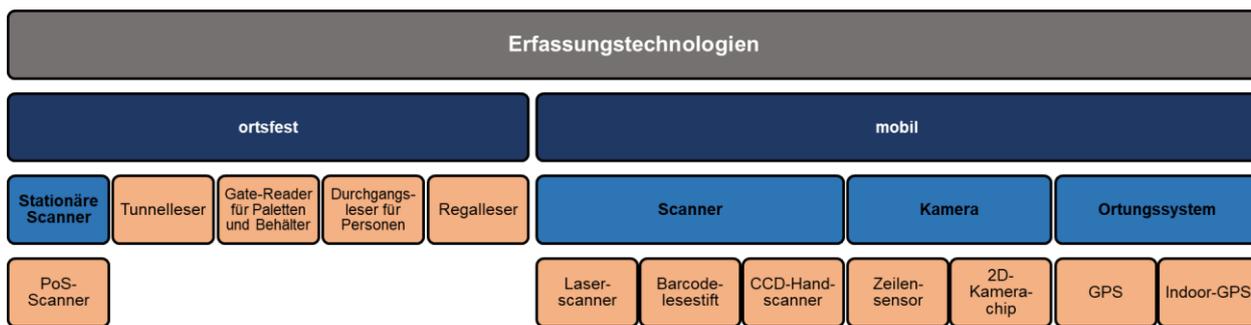


Abbildung 4-7: Erfassungstechnologien

Mobile Erfassungstechnologien sind Technologien, die dazu dienen, Daten oder Informationen von mobilen oder beweglichen Geräten aus zu erfassen. Im Gegensatz zu ortsfesten Erfassungstechnologien ermöglichen mobile Erfassungstechnologien die Datenerfassung von nahezu überall aus, da sie von Personen getragen oder auf mobilen Geräten mitgeführt werden können. Da sie überall Daten vor Ort erfassen können, ohne an einen festen Standort gebunden zu sein, sind sie besonders flexibel. Mit ihrer Flexibilität verbessern sie die Effizienz und Genauigkeit der Datenerfassung, sodass schnelle Entscheidungen auf Grundlage aktueller Informationen getroffen werden können. Zu den häufigsten Einsatzbereichen zählen Handel, Logistik, Gesundheitswesen, Umweltüberwachung, Vermessung, Sicherheit und weitere. Zu den mobilen Erfassungstechnologien gehören Scanner, Kameras und Ortungssysteme, die jeweils für spezifische Anwendungsfälle zum Einsatz kommen. Ein **Scanner** erfasst Daten von gedruckten oder handschriftlichen Dokumenten, Barcodes, RFID-Tags, Bildern, Fotos oder anderen physischen Objekten und wandelt sie in digitale Daten um, die auf einem Computer oder einem anderen digitalen Medium gespeichert und weiterverarbeitet werden können. Bei dem Scanprinzip wird die Oberfläche mit

einem bewegten feinen Lichtpunkt abgetastet und die rückkommende Strahlung durch einen photoelektrischen Wandler aufgenommen. Eine **Kamera** erfasst visuelle Informationen von der Umgebung oder einem bestimmten Objekt zur Dokumentation und/oder Analyse bestimmter Zustände. Eine Optik, normalerweise ein Objektiv, fängt das Licht von der Umgebung oder einem Objekt ein, das die Linsen passiert und auf den Bildsensor fällt. Der Bildsensor, z. B. Charge-Coupled Device (CCD) wandelt das einfallende Licht in elektrische Signale um, die als Pixelwerte dargestellt werden. Die elektrischen Signale, die vom Bildsensor generiert werden, sind zunächst analog und müssen in digitale Signale umgewandelt werden, damit sie weiterverarbeitet werden können (Analog-Digital-Umwandlung). Ein **Ortungssystem** dient dazu, die Position oder den Standort von Objekten, Personen oder Fahrzeugen in Echtzeit oder zu einem bestimmten Zeitpunkt zu ermitteln. Zu den häufig verwendeten Ortungstechnologien gehört das GPS. Spezielle Ortungsgeräte oder -empfänger (z. B. in Smartphones oder Navigationssystemen) kommen zum Einsatz, die die Signale von Ortungsquellen empfangen und interpretieren können. Diese Signale enthalten Informationen, die für die Berechnung der Position und manchmal auch für andere relevante Daten wie Geschwindigkeit oder Richtung des verfolgten Objekts verwendet werden. Einige Ortungssysteme bieten die Möglichkeit des Echtzeit-Trackings, bei dem die Position von Objekten oder Personen kontinuierlich und in Echtzeit aktualisiert wird. Dies ist besonders nützlich in Anwendungen wie der Fahrzeugverfolgung. (vgl. u. a. Hippenmeyer, Moosmann 2016; ten Hompel et al. 2008; Keferstein et al. 2018)

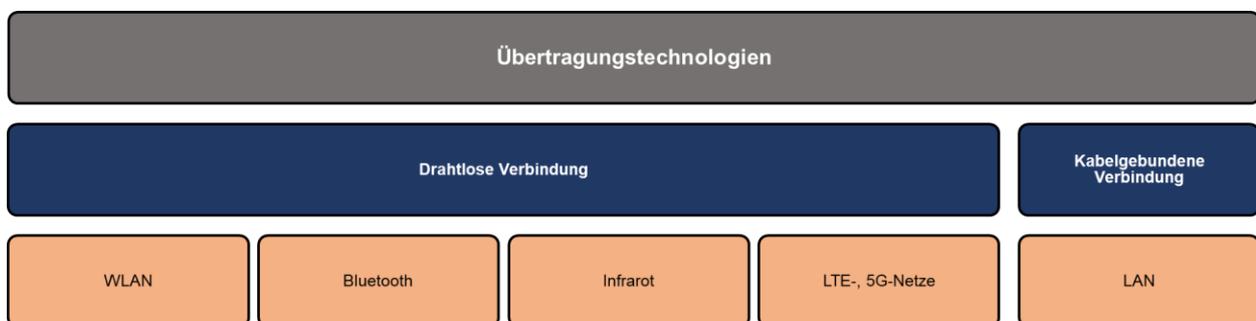


Abbildung 4-8: Übertragungstechnologien

Die berücksichtigten Übertragungstechnologien sind in Abbildung 4-8 dargestellt. Grundsätzlich gibt es drahtlose und kabelgebundene Übertragungstechnologien, um Daten, Informationen oder Signale von einem Punkt zu einem anderen zu übertragen und die Kommunikation und den Austausch von Informationen über verschiedene Medien und Entfernungen zu ermöglichen. **Bei kabelgebundenen Verbindungen** findet der Austausch über physische Kabel (elektrische oder optische Leitungen) statt, die eine zuverlässige und schnelle Datenübertragung ermöglichen. In der Regel haben kabelgebundene Übertragungstechnologien hohe Geschwindigkeiten, geringe Latenzzeiten und eine stabile Verbindung, sind jedoch oft durch die physische Verkabelung begrenzt. **Drahtlose Übertragungstechnologien** nutzen keine physischen Kabel, sondern basieren auf elektromagnetischen Wellen oder anderen drahtlosen Übertragungsmechanismen, um

Informationen zwischen Geräten oder Systemen zu senden und zu empfangen. Ihre Vorteile liegen in der Mobilität und Flexibilität sowie dem Datenaustausch über kurze (z. B. mittels Bluetooth) und große Entfernungen (z. B. mittels Mobilfunk: LTE, 5G). (vgl. auch Sassenberg, Mantz 2014; Osterhage 2018; Sauter 2018; Grosse 2018)

Alle identifizierten Technologien sind in Form von Steckbriefen beschrieben, der den Namen, eine Abbildung, eine kurze Beschreibung, Vor- und Nachteile sowie gängige Einsatzgebiete umfasst. Die Gesamtheit aller Steckbriefe stellt den Technologiekatalog dar (Reisich 2021, Auszug siehe Abbildung 4-9). Dieser kann in Anhang E eingesehen werden.

Teil 1: Datenidentifikation

Name: QR-Code

Beschreibung: Der zweidimensionale Code ist ein quadratischer Code, der in drei Ecken verteilte und ineinander verschachtelte Quadrate besitzt, die als Suchelemente fungieren.

Vorteil: Der Code kann mit Hilfe der Fehlerkorrektur auch noch bei einer zerstörten oder verbleibenden Fläche von 30% verwendet werden.

Nachteil: Datentransfer erfordert unmittelbaren visuellen Kontakt zwischen Leseeinheit und dem mittels Barcode gekennzeichneten Objekt.

Einsatzgebiete: Zu Beginn zwischen zwei Fahrzeugen.

Teil 2: Datenerfassung

Name: GPS

Beschreibung: Das GPS (Global Positioning System) umfasst ein weltweites Satellitenorientierungssystem. Bei einer Höhe von 20200 km über der Erdoberfläche bewegen sich auf sechs polaren Orbits insgesamt mindestens 21 Satelliten und drei Reservesatelliten, die jederzeit sowie an allen Orten die benötigte Anzahl von vier Satelliten mit einer Navigationsfunktion zur Verfügung stellen.

Vorteil: Beobachtung aus größerer Entfernung möglich.

Nachteil: Bei Unregelmäßigkeiten können die Signale beeinträchtigt werden.

Einsatzgebiete: Verwendung findet die Navigation zu Lande, auf dem Meer und in der Luft. Diese wird jedoch auch für die Landvermessung, Kartographie, Fahrzeugnavigation, Landwirtschaft, Transportsysteme, Archäologie oder Fischerei verwendet.

Teil 3: Datenübertragung

Name: WLAN

Beschreibung: Die Abkürzung WLAN steht für Wireless Local Area Network, die deutlich macht, dass LAN-Funktionalitäten drahtlos verfügbar sind. Drahtlos erstreckt sich vom klassischen Funkverkehr bis beispielsweise zum Infrarotbereich.

Vorteil: Einfache Erweiterung der Netzwerke.

Nachteil: Die Übertragungsgeschwindigkeit ist bei WLAN von verschiedenen Faktoren abhängig. Einer der Faktoren ist die Anzahl der User, welche sich eine Funkzelle teilen. Hierbei gilt, dass die User die Übertragungsgeschwindigkeit teilen müssen. Bei einer Vielzahl von Usern macht sich das schnell bemerkbar.

Einsatzgebiete: WLAN-Teile finden Anwendung bei Aufgabenstrukturen in Unternehmen, die eine hohe Mobilität voraussetzen.

Abbildung 4-9: Auszug aus dem Technologiekatalog (Reisich 2021)

4.2.5 Identifikation von Bewertungskriterien für die Auswahl einer Technologie zur (teil-)automatischen Datenerfassung mittels Delphi-Studie

Der Technologiekatalog aus Abschnitt 4.2.4 bietet eine Bündelung an Informationen über Technologien zur Erfassung von Daten zu logistischen Prozessen auf der Baustelle. Für konkrete Anwendungsfälle kommt meistens aber nur eine kleine Auswahl der am Markt verfügbaren Technologien infrage, für deren Auswahl im Rahmen des Forschungsprojektes eine Methodik entwickelt wird. Der Auswahlprozess von Technologien kann nur auf Basis einer soliden Technologiebewertung erfolgen, für die geeignete Bewertungskriterien vorliegen müssen. Anhand dieser Bewertungskriterien können Anforderungen quantifiziert werden und eine Auswahl an Technologien erfolgen.

In Anlehnung an das Vorgehensmodell nach Fink (2020) wird zunächst eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt, um geeignete Bewertungskriterien für den Auswahlprozess zu identifizieren. Hierbei werden die beiden Themenschwerpunkte Bewertung alias Untersuchung, Beurteilung, Begutachtung oder Einschätzung mit den Begriffen Kriterien, Merkmale, Attribute oder Aspekte verknüpft und in den Kontext der Datenerfassung gesetzt. Für die Suche werden die Metadatenbanken KARLA der Universität Kassel und Google Scholar sowie die Datenbank WISO ausgewählt. Bei der Suche werden primär Bücher und wissenschaftliche Artikel, Studien und

Fachzeitschriften berücksichtigt. Dabei liegt der Fokus auf deutschsprachigen Publikationen. Der Erscheinungszeitraum der Veröffentlichungen wird nicht eingeschränkt. Durch die Analyse der Abstracts und Volltexte der identifizierten Publikationen wird beurteilt, ob die Kriterien für den Technologiebereich der (teil-)automatisierten Datenerfassung auf der Baustelle relevant sind.

Aus insgesamt elf relevanten Quellen (Straßer, Axmann 2021; Glaser et al. 1997; Harland 2019; Morgenschweis 2018; Naumann 2015; Wulfsberg et al. 2005; Schulte 2005; Heinz 1996; Seyffert 2011; Bartneck 2008; Warschat et al. 2015; Meier 2003) kann eine Vielzahl an Bewertungskriterien identifiziert werden. Diese werden analysiert, ggf. zusammengefasst, inhaltlich strukturiert (z. B. nach geometrischen Eigenschaften, Geräte- oder Leistungseigenschaften) und abschließend in allgemeine Kriterien (40x), Kriterien zur Auswahl von Identifikationstechnologien (4x), Kriterien zur Auswahl von Erfassungstechnologien (8x) und Kriterien zur Auswahl von Übertragungstechnologien (2x) sortiert. Das Ergebnis der Literaturrecherche ist in Abbildung 4-10 in Form eines Ishikawa-Diagramms dargestellt. Für die Kriterien wird ein Kriterienkatalog angelegt (Reisich 2022, Anhang F), der die Ergebnisse zusammenfasst und um eine eindeutige Definition des Kriteriums ergänzt (Beispiel: Verfügbarkeit (5. Kriterium in der Liste = [K5]) = Wahrscheinlichkeit, die Technologien zu einem vorgegebenen Zeitpunkt in einem funktionsfähigen Zustand vorzufinden).

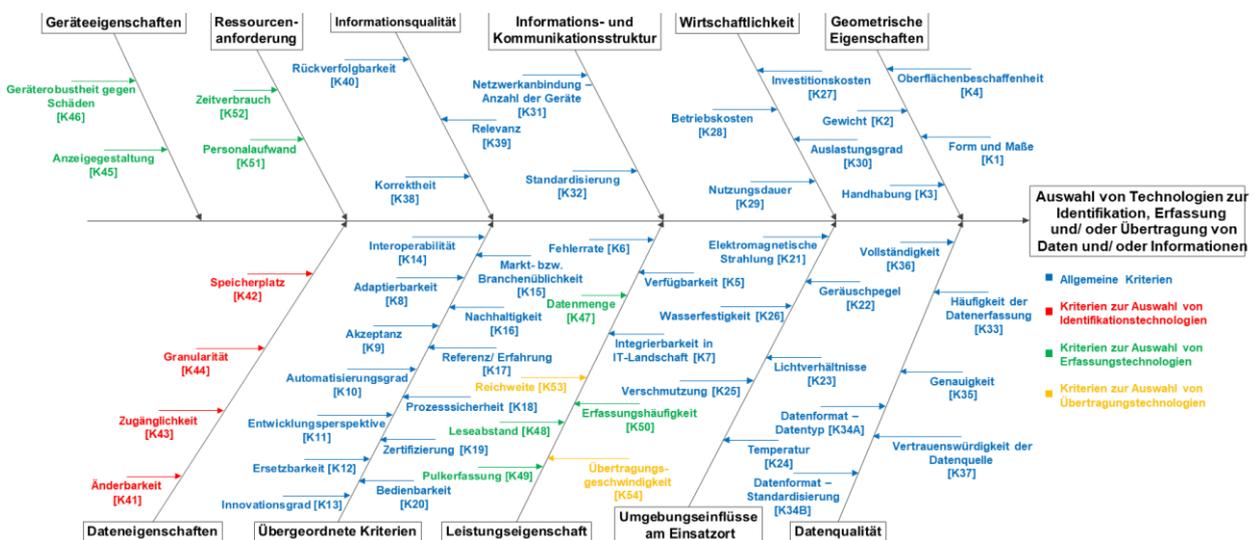


Abbildung 4-10: Identifizierte Bewertungskriterien aus der Literaturrecherche (Reisich 2022)

Eine Validierung der Bewertungskriterien erfolgt durch eine empirische Befragung mittels Delphi-Studie. Diese Methode ermöglicht, Erfahrungen und Expertise verschiedener Fachleute zu nutzen, um passende Kriterien für die Bewertung von (teil-)automatisierten Technologien zur Datenerfassung in logistischen Prozessen zu identifizieren. Durch die Anonymität der Befragung werden gegenseitige Beeinflussungen der Teilnehmerinnen und Teilnehmer vermieden. Die Delphi-Studie wird in mehreren aufeinanderfolgenden Runden durchgeführt, wodurch die Möglichkeit besteht, Zwischenergebnisse zu vergleichen und bei Bedarf Anpassungen vorzunehmen, um das Endergebnis zu verbessern. Zudem bietet die digitale Durchführung der Umfrage die Vorteile der Ort- und Zeitunabhängigkeit. Der Online-Fragebogen (siehe Anhang G) umfasst zunächst soziodemographische Fragen, denen sich anschließend die Bewertung je Kategorie anschließt; ein Ausschnitt des Online-Fragebogens für die 2. Befragungsrunde ist in Abbildung 4-11 einzusehen, der um die Auswertung der Ergebnisse aus der 1. Befragungsrunde erweitert wurde (Prozentuale Verteilung der gegebenen Antworten in [...] angegeben). Insgesamt ermöglicht diese Vorgehensweise eine fundierte und realistische Einschätzung der Ergebnisse durch Experten auf dem Gebiet der (teil-)automatisierten Datenerfassungstechnologien für logistische Prozesse.

Geometrische Eigenschaften					
	Hoch	Mittel	Gering	Irrelevant	Keine Antwort
Form und Maße [H: 43 %, M: 29 %, G: 14 %, I: 0 %, K.A.: 14 %] Physische Gestalt der Technologie (Größe/Volumen).	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Gewicht [H: 14 %, M: 71 %, G: 0 %, I: 0 %, K.A.: 14 %] Gewicht der Technologie.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Handhabung [H: 43 %, M: 43 %, G: 0 %, I: 0 %, K.A.: 14 %] Ergonomische Gestaltung der Technologie.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Oberflächenbeschaffenheit [H: 0 %, M: 29 %, G: 57 %, I: 0 %, K.A.: 14 %] Beschaffenheit des Gehäusematerials der Technologie.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

Abbildung 4-11: Ausschnitt des Online-Fragebogens zur Delphi-Studie in der zweiten Runde

Im Zeitraum von Mai bis Juli 2022 wurde nach erfolgreichem Pretest eine zweistufige Delphi-Studie mit Experten aus dem PA durchgeführt, um die identifizierten Bewertungskriterien hinsichtlich ihrer Eignung für den Maschinen- und Anlagenbau zu überprüfen. An der ersten Runde nahmen sieben Experten teil und an der zweiten Runde unter Einfluss der Ergebnisse aus der ersten Runde noch vier Experten. Die Analyse zeigt, dass von den insgesamt 54 identifizierten Kriterien im Bereich Maschinen- und Anlagenbau 44 als relevant eingestuft werden. Die Kriterien werden als relevant betrachtet, wenn sie entweder als „hoch“ oder „mittel“ bewertet werden. Um die Be-

wertungskomplexität zu reduzieren, werden für das weitere Vorgehen im Projekt nur 17 Bewertungskriterien berücksichtigt, die als „hoch“ bewertet wurden. Diese 17 Kriterien unterteilen sich in folgende Kategorien:

- 11 allgemeine Kriterien: Verfügbarkeit, Nutzungsdauer, Rückverfolgbarkeit, Netzwerkanbindung (Anzahl der Geräte), Prozesssicherheit, Bedienbarkeit, Datenformat (Standardisierung und Datentyp), Genauigkeit, Integrierbarkeit in IT-Landschaft (IT = Informationstechnik) und Vertrauenswürdigkeit der Datenquelle
- 2 Kriterien für Datenidentifikationstechnologien: Zugänglichkeit und Granularität
- 2 Kriterien für Datenerfassungstechnologien: Robustheit gegen Schäden und Leseabstand
- 2 Kriterien für Datenübertragungstechnologien: Übertragungsgeschwindigkeit und Reichweite

Die Delphi-Studie ist an dieser Stelle erfolgreich abgeschlossen und liefert eine fundierte Bewertungsgrundlage beruhend auf der Expertise aus der Wirtschaft für die weiteren Ausarbeitungen.

4.2.6 Entwicklung einer Methodik zur Technologieauswahl

Technologiekatalog (Abschnitt 4.2.4) und Kriterienkatalog (Abschnitt 4.2.5) bilden die Basis für die Auswahl geeigneter Technologien zur (teil-)automatischen Datenidentifikation, -erfassung und -übertragung für logistische Prozesse zur und auf der Baustelle. Unter Verwendung des Katalogs kann eine Technologiebewertung erfolgen, die den Kern des Technologieauswahlprozesses darstellt. Für die Technologiebewertung werden die 17 Bewertungskriterien herangezogen, die im Rahmen der durchgeführten Delphi-Studie als „hoch“ bewertet wurden. Um eine strukturierte Technologiebewertung durchzuführen, werden den 17 Bewertungskriterien konkrete Ausprägungen zugewiesen. Diese Ausprägungen lassen sich in zwei Typen unterscheiden (Guckelsberger 2013): nominale Ausprägungen, die keiner Rangordnung unterliegen (z. B. Standardisierungen wie die Global Location Number (GLN) oder die Global Trade Item Number (GTIN)), und ordinale Ausprägungen (z. B. Nutzungsdauer in Jahren oder Verfügbarkeit in %), die in eine Reihenfolge gebracht werden können. In Tabelle 4-2 sind die Beispiele mit ihren Ausprägungen auszugswise wiederzufinden. Eine Gesamtübersicht befindet sich in Anhang H.

Tabelle 4-2: Auszug der Kriterienliste mit ihren Ausprägungen

Name	Eigenschaften	Ausprägung 1	Ausprägung 2	Ausprägung 3	Ausprägung 4	Ausprägung 5
Verfügbarkeit	Ordinal in %	Sehr gering (0-60)	Gering (61-80)	Mittel (81-90)	Hoch (91-95)	Sehr hoch (96-100)
Nutzungsdauer	Ordinal in Jahren	Sehr kurzlebig (x<=1)	Kurzlebig (1<x<=3)	Langlebig (3<x<=10)	Sehr langlebig (x>10)	-
Standardisierung	Nominal	GLN	GTIN	EAN 8	EAN 13	[...]

Die ordinalen Ausprägungen werden nach ihrer Größe geordnet, zum Beispiel von einer kurzlebigen (< 1 Jahr) bis zu einer sehr langlebigen (> 10 Jahre) Nutzungsdauer oder von einer sehr geringen (< 60 %) bis zu einer sehr hohen (> 95 %) Verfügbarkeit. Der Auswahlprozess berücksichtigt später ebenfalls Technologien, deren Ausprägungen den gesetzten Erwartungswert in einem Anwendungsfall übertreffen und somit bessere Eigenschaften aufweisen als unbedingt notwendig. Damit werden Technologien, die eine deutlich längere Nutzungsdauer haben als erforderlich, nicht von vornherein ausgeschlossen, sondern weiter in Betracht gezogen.

Im Zuge der Bewertung der im Technologiecatalog beschriebenen Datenidentifikations-, Datenerfassungs- und Datenübertragungstechnologien werden die anwendungsbezogenen Kriterien berücksichtigt. Diese Technologiebewertung basiert auf Literaturquellen, die Aufschluss über die Leistungsfähigkeit der einzelnen Technologien geben. Zum Beispiel wird laut Literatur der Datenerfassungstechnologie GPS-Sensor eine hohe Verfügbarkeit zugesprochen (vgl. z. B. Schelewsky et al. 2014), während der Datenerfassungstechnologie Handscanner eine geringe Reichweite zugewiesen wird (vgl. z. B. Hippenmeyer, Moosmann 2016).

Die Bewertung einer Technologie ist erst abgeschlossen, wenn alle ihr zugeordneten Kriterien bewertet wurden. Diese Bewertung erfolgt zunächst einmalig für alle Technologien aus dem Technologiecatalog und wird in Form einer Technologiematrix festgehalten (Reisich 2022; Auszug siehe Tabelle 4-3, Gesamtübersicht siehe Anhang I). Sollen neue Technologien in den Katalog aufgenommen werden, ist eine ergänzende Technologiebewertung erforderlich, um ihre Leistungsfähigkeit zu ermitteln und sie in die bestehende Matrix einzuordnen. Auf diese Weise wird ein umfassendes Bild der technologischen Möglichkeiten für die Datenidentifikation, Datenerfassung und Datenübertragung geschaffen und eine fundierte Entscheidungsfindung für die Auswahl der am besten geeigneten Technologien für bestimmte Anwendungsfälle ermöglicht.

Tabelle 4-3: Auszug aus der Technologiematrix

Name	Verfügbarkeit [%]	Integrierbarkeit in IT-Landschaft	Prozess-Sicherheit [%]	Bedienbarkeit	Nutzungsdauer [in Jahren]	Datenformat Datentyp	Weitere
Code 2 aus 5 (1D-Barcode)	Sehr hoch (96-100)	Kompatibel (geringer Integrationsaufwand)	Hoch (91-95)	Bedienung in geringem Umfang (teil-automatisiert)	Sehr kurzlebig ($x \leq 1$)	Integer (ganze Zahl)	...
QR-Code (2D-Barcode)	Sehr hoch (96-100)	Kompatibel (geringer Integrationsaufwand)	Sehr hoch (96-100)	Bedienung in geringem Umfang; (teil-automatisiert)	Kurzlebig ($1 < x \leq 3$)	String (Zeichenkette)	...

Bisher wurden die Technologien zur Identifikation, Erfassung und Übertragung separat betrachtet, jedoch kommen sie auf der Baustelle als Technologieketten zum Einsatz. Eine Technologiekette entsteht durch die Kombination von geeigneten Identifikations-, Erfassungs- und Übertragungstechnologien. Aus den insgesamt identifizierten 330 technisch sinnvollen Technologieketten sind vier Beispiele in Tabelle 4-4 aufgeführt; eine Gesamtübersicht siehe Anhang J. Hier ist zu erkennen, dass sowohl die Technologieketten (TKxxx) als auch die Technologien (ITxxx, ETxxx oder UeTxxx) eindeutig gekennzeichnet sind. Die Codierung erleichtert im weiteren Verlauf den Zugriff auf ausgewählte Lösungen aus dem Auswahlprozess.

Tabelle 4-4: Beispiele für Technologieketten

Technologiekette [TK]	Identifikationstechnologien [IT]			Erfassungstechnologien [ET]		Übertragungstechnologien [UeT]	
ID	Übergeordnete Kategorie	ID	Name	ID	Name	ID	Name
TK005	1D Barcode	IT001	Code 2 aus 5	ET001	Positions-scanner	UeT005	LAN
TK200	2D Barcode (Matrixcode)	IT011	QR-Code	ET005	Kamera	UeT005	LAN
TK286	RFID-Technologie	IT017	Passive Transponder	ET008	RFID-Lesegerät	UeT001	WLAN
TK304	GPS-Technologie	IT020	Satellit Antenne	ET009	GPS-Sensor outdoor	UeT004	Mobilfunk 5G

Durch die Verwendung des Technologiekatalogs in Verbindung mit den bewerteten Technologien ergibt sich die Möglichkeit, geeignete Technologien für die Identifikation, Erfassung und Übertragung von Daten sowie vollständige Technologieketten für spezifische Anwendungsszenarien zu selektieren. Eine übersichtliche Darstellung der gesamten Methodik einschließlich ihrer Einzelkomponenten ist in Abbildung 4-12 zusammengefasst. Die Methodik unterscheidet zwischen vorbereitenden, Verarbeitungs- und anwendungsbezogenen Phasen. Die vorbereitenden Phasen umfassen sowohl die Bewertungskriterien mit ihren Ausprägungen als auch die bewerteten Technologien aus dem Technologiekatalog sowie identifizierte Technologieketten. Die Verarbeitungsphasen schaffen eine Verbindung zwischen der Anwendung und der erstellten Wissensbasis, um Anfragen aus der Anwendung zu beantworten. Die anwendungsbezogenen Phasen unterteilen sich in das Ausfüllen eines Anforderungsprofils (1), den eigentlichen Filterprozess (2) und die Ergebnisausgabe (3), wobei diese Schritte stets in derselben Reihenfolge durchgeführt werden. Die Ergebnisse zur Entwicklung der Methodik sind in der „Projektmanagement Aktuell“ veröffentlicht worden (Gliem et al. 2023).

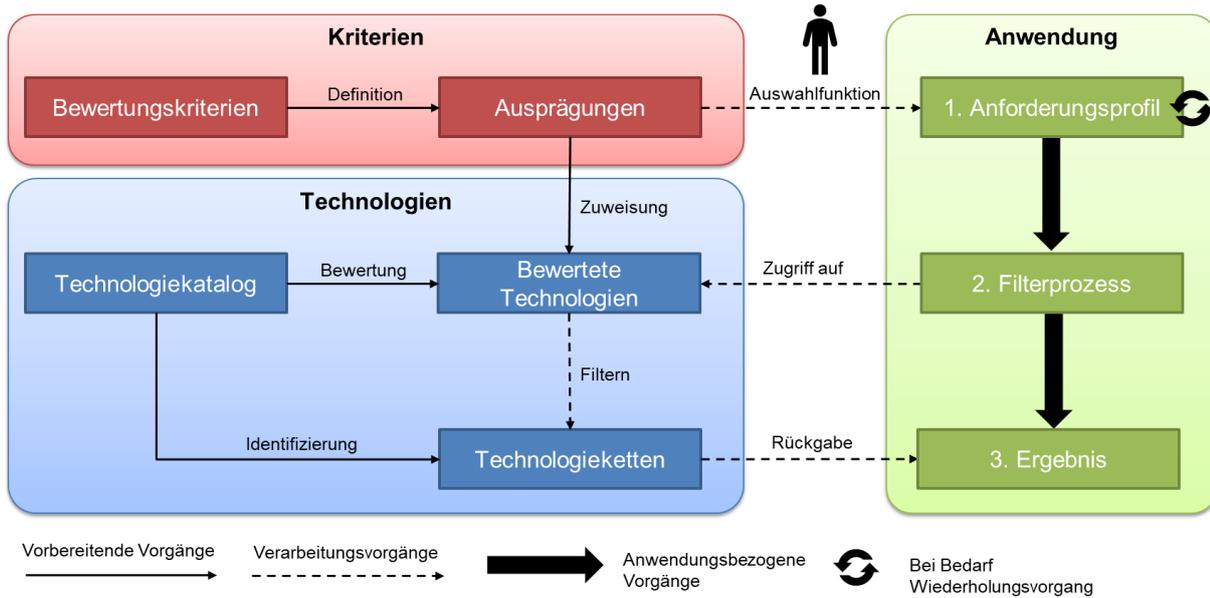


Abbildung 4-12: Methodik zur Technologieauswahl

Die Selektion von geeigneten Technologieketten erfolgt über einen Filterprozess, der jene Technologieketten identifiziert, die alle angegebenen Anforderungen für den jeweiligen Anwendungsfall erfüllen. Die Anforderungen werden über ein Anforderungsprofil mit Hilfe der 17 identifizierten Bewertungskriterien durch Auswahl konkreter Ausprägungen festgehalten. Somit lassen sich gegebene Anforderungen aus einem konkreten Anwendungsfall präzisieren; dabei müssen nicht alle Kriterien festgelegt werden. Für den Einsatz im Maschinen- und Anlagenbau ist die Methodik mittels Microsoft Excel® in eine ausführbare Anwendung überführt worden. Diese umfasst zunächst den Technologie- und Kriterienkatalog einschließlich aller Ausprägungen sowie die Technologiebewertung, die als Wissensbasis fungiert. Für ein Anforderungsprofil (siehe Abbildung 4-13) können über ein Dropdown-Menü Anforderungen ausgewählt werden. Diese sind analog zu dem Kriterienkatalog in die Bereiche Allgemein (blau), Identifikationstechnologie (grün), Erfassungstechnologie (orange) und Übertragungstechnologie (gelb) strukturiert. Nach ersten Anwendungen der Methodik wurde erkannt, dass die 17 Bewertungskriterien nicht immer zufriedenstellende Ergebnisse erzielen. Aus diesem Grund fließen nach einer Erweiterung der Bewertungskriterien drei zusätzliche Hilfskriterien in den Technologiebewertungsprozess ein: Örtliche Flexibilität (mobil und ortsfest), Art der Datenübertragung (kabelgebunden und nicht kabelgebunden) sowie Umgebung (indoor und outdoor).

Sofern das Projektmanagement Technologien zur Datenidentifikation, -erfassung und -übertragung für einen präzisen Anwendungsfall, wie das Tracking von Arbeits- und Hilfsmitteln, die Fortschrittskontrolle, die Erfassung von Arbeits- oder Prozesszeiten oder die örtliche Ortung von Bauteilen, einsetzen möchte, ist das Anforderungsprofil auszufüllen. Falls für ein bestimmtes Kriterium keine spezifische Ausprägung selektiert wird, wird automatisch die Bezeichnung „keine Angabe“ zugewiesen. Dies impliziert, dass dieses Kriterium im Filterprozess nicht berücksichtigt

wird. Das Ergebnis dieser Auswahl zeigt alle Technologieketten auf, die die gewählten Anforderungen entweder erfüllen oder sogar übertreffen. Die Anzahl der resultierenden Technologieketten variiert in Abhängigkeit von der Rigorosität der an die Technologien gestellten Anforderungen.

Allgemein	
Kriterium	Auswahl
Verfügbarkeit Wahrscheinlichkeit, die Technologie zu einem vorgegebenen Zeitpunkt in einem funktionsfähigen Zustand vorzufinden.	Keine Angabe
Nutzungsdauer Betriebsübliche Verwendungsdauer einer Technologie.	Keine Angabe
Identifikationstechnologie	
Kriterium	Auswahl
Zugänglichkeit Zeitlicher Aufwand, mit dem die Daten identifiziert, lokalisiert und erhoben werden können.	Keine Angabe
Granularität Für die Nutzung der Daten notwendiger Detaillierungsgrad.	Keine Angabe
Erfassungstechnologie	
Kriterium	Auswahl
Robustheit gegen Schäden Feuchtigkeit Robustheit der Datenerfassungsgeräte gegen Schäden durch äußere Einwirkungen.	Keine Angabe
Leseabstand Abstand, der ein korrektes Ab- oder Auslesen der Daten erlaubt.	Keine Angabe
Übertragungstechnologie	
Kriterium	Auswahl
Übertragungsgeschwindigkeit Geschwindigkeit, mit der Datenpakete je Zeiteinheit übertragen werden können.	Keine Angabe
Reichweite Distanz, die die Übertragungstechnologie überbrücken kann.	Keine Angabe

Abbildung 4-13: Anforderungsprofil zur Technologieauswahl

Die entwickelte Methodik repräsentiert ein Werkzeug, das für spezifische Anwendungsszenarien Datenidentifikations-, Datenerfassungs- und Datenübertragungstechnologien für logistische Prozesse zur und auf der Baustelle vorschlägt. Durch die Implementierung dieser Methodik erhält das Projektmanagement einen einfachen Zugang zu Lösungsansätzen. Durch die Nutzung einer auf einen konkreten Anwendungsbedarf zugeschnittenen Technologiekette wird die Datenverfügbarkeit erhöht und infolgedessen die Transparenz der Logistikprozesse für die Projektsteuerung gesteigert. Somit wird dem Projektmanagement eine verbesserte Übersicht über die aktuellen Baustellenprozesse gegeben und eine sicherere Projektführung gewährleistet, da die tatsächlichen Zustände zu logistischen Prozessen auf der Baustelle in Echtzeit abgerufen werden können; eine frühzeitige Intervention bei Abweichungen von der ursprünglichen Planung wird möglich. Insgesamt verringert sich das Projektrisiko aufgrund der gesteigerten Transparenz, da die Planung von Zeit, Kosten und Ressourcen unter Einsatz der Technologien datenbasiert erfolgen kann. Die Methodik weist des Weiteren eine hohe Flexibilität auf. Einerseits können kontinuierlich neue Technologien im Katalog integriert und mit technisch sinnvollen Technologieketten verknüpft werden; damit kann die Palette verfügbarer Technologien stetig erweitert werden. Andererseits können neue Bewertungskriterien in Betracht gezogen werden, die in speziellen Anwendungsfällen von hoher Relevanz sind. Es ist jedoch zu beachten, dass in diesem Fall für die neuen Bewertungskriterien eine nachträgliche Bewertung aller bereits abgelegten Technologien erforderlich ist.

4.2.7 Entwicklung eines semantischen Modells

Die bisher erarbeiteten Ergebnisse fließen zur Repräsentation des gewonnenen Wissens in ein semantisches Modell ein. Mit dem semantischen Modell wird eine formalisierte Struktur geschaffen, die die Semantik (Bedeutung) von Begriffen und deren Beziehungen zueinander erfasst (siehe Abschnitt 3.3). Mit einer Ontologie, eine spezialisierte Form zur Abbildung eines semantischen Modells, werden nicht nur die Beziehungen und Bedeutungen von Begriffen dargestellt, sondern auch eine Hierarchie und Regeln zur Beschreibung der Domäne eingeschlossen. Damit geht eine Ontologie über die reine Repräsentation von Wissen hinaus und ermöglicht es, Wissen so zu organisieren und zu teilen, dass durch die Interoperabilität von Systemen die automatische Verarbeitung von Informationen möglich wird. Eine Entwicklung einer Ontologie wird nachfolgend beschrieben.

Vor der eigentlichen Entwicklung einer Ontologie wird untersucht, ob bereits Ontologien für die Logistikdomäne vorliegen und genutzt werden können. Dafür wurde eine umfassende Literaturrecherche mit der Fragestellung: „Welche Ontologien existieren in der Logistikdomäne und eignen sich diese zur Anwendung für Logistikprozesse im Maschinen- und Anlagenbau?“ durchgeführt. Die Datenbanken Google Scholar, Gateway Bayern Aufsatzsuche, De Gruyter, Scopus und ScienceDirect wurden für eine Literaturrecherche herangezogen; die Ontologiedatenbanken

Protégé Ontology Library, DAML Ontology Library und ONKI wurden ebenfalls betrachtet. Um die Relevanz der gefundenen Literatur sicherzustellen, wird festgelegt, dass die Literatur nicht vor dem Jahr 1990 erschienen sowie in deutscher oder englischer Sprache frei zugänglich als Volltext verfügbar ist. Nach der Filtrierung, in der insbesondere Dopplungen entfernt und nach inhaltlicher Relevanz gefiltert werden, verbleiben 15 relevante Publikationen (Rammo 2022, siehe Tabelle 4-5).

Die Beurteilung der Eignung der ermittelten Ontologien für die Anwendung für Logistikprozesse des Maschinen- und Anlagenbaus basiert auf im Vorfeld definierten Anforderungen. Im Bereich der Ontologien hat sich für diesen Zweck der Standard „Ontology Requirements Specification Document“ (ORSO) etabliert. Dieses Dokument wird in verschiedenen Literaturquellen über Methoden der Ontologieentwicklung, wie etwa von Grüninger und Fox (1995), Staab und Studer (2009) sowie Uschold und Grüninger (1996), für die systematische Erfassung von Anforderungen an Ontologien verwendet. In diesem Untersuchungskontext wird lediglich ein Abschnitt des Dokumentes betrachtet, nämlich die Formulierung von Kompetenzfragen. Diese Kompetenzfragen, auch als Competency Questions bezeichnet, bestehen aus in natürlicher Sprache verfassten Fragen, die von der Ontologie beantwortet werden sollen (vgl. Suárez-Figueroa et al. 2009). Diese lauten hier:

- Wie lange dauerte der Transport des Materials X zur Baustelle?
- Wo befindet sich mein Akku-Schrauber A?
- Wie häufig musste das Material Y umgeräumt werden?
- Wie ist der aktuelle Baufortschritt?
- Welche logistischen Prozesse liefen bei der Vormontage ab?

Unter Berücksichtigung dieser Kompetenzfragen erfolgte eine Evaluierung der identifizierten Ontologien anhand spezifischer Bewertungskriterien. Durch die Verwendung objektiver Bewertungskriterien in einer methodischen Vorgehensweise kann nachvollziehbar aufgezeigt werden, ob die identifizierten Ontologien für den untersuchten Anwendungsfall geeignet sind. In der Fachliteratur sind bereits mehrere Arbeiten zu Bewertungskriterien von Ontologien verfügbar (vgl. z. B. Gomez-Perez 2004; Grüninger, Fox 1995), die auch zur Orientierung bei der Ausarbeitung der Kriterien in dieser Studie herangezogen wurden. Für die Bewertung werden die vier Kriterien Zugänglichkeit, Vollständigkeit, Richtigkeit und Flexibilität betrachtet.

Die **Zugänglichkeit** einer Ontologie stellt ein rein formales Kriterium dar. Um eine gefundene Ontologie direkt anwenden zu können, bedarf es eines softwaretechnischen Zugangs zu dieser Ontologie. Dennoch enthalten viele veröffentlichte Arbeiten lediglich knappe beschreibende Darstellungen des Aufbaus der Ontologie, ohne einen direkten Zugang anzubieten. Dieser Umstand wird durch das Kriterium der Zugänglichkeit berücksichtigt. Die Bewertung der Zugänglichkeit

erfolgt daher in binärer Form und kann lediglich mit „ja“ oder „nein“ bzw. durch minimale oder maximale Punktzahl bewertet werden.

Das Kriterium der **Vollständigkeit** definiert hingegen den eigentlichen Inhalt der Ontologien. Es gibt an, in welchem Maße die zu repräsentierende Domäne in der Ontologie abgebildet ist. Zur Beurteilung dieses Kriteriums werden die zuvor formulierten Kompetenzfragen herangezogen. Hierbei wird geprüft, ob die jeweilige Ontologie in der Lage ist, die gestellten Kompetenzfragen zu beantworten. Das Verhältnis von beantworteten Fragen zu gestellten Fragen bildet einen Maßstab für die Vollständigkeit.

Die **Richtigkeit** einer Ontologie beschreibt das Ausmaß, in dem die Modellierung der Domäne in der Ontologie mit dem Verständnis der realen Welt übereinstimmt. Dieses Kriterium zielt darauf ab, ob die Axiome und Relationen der Ontologie die tatsächlichen Beziehungen der realen Welt korrekt repräsentieren. Die Bewertung dieses Aspekts erfolgt durch die Analyse von zehn zufällig ausgewählten Relationen oder Axiomen. Das Verhältnis der als korrekt bewerteten Axiome zu den betrachteten Axiomen liefert eine Kennzahl für die Richtigkeit der Ontologie.

In Bezug auf den Maschinen- und Anlagenbau, der von kundenindividuellen Projekten geprägt ist, nimmt die **Flexibilität** eine entscheidende Rolle ein. Eine Ontologie in diesem Bereich sollte die konzeptionelle Grundlage für ein breites Spektrum neuer Aufgaben bieten. Dies kann durch z. B. einen modularen Aufbau der Ontologie erreicht werden. Für die Beurteilung des Kriteriums erfolgt keine numerische Bewertung, da dies aus den Informationen der Publikationen nicht möglich ist. Stattdessen wird bewertet, in welchem Ausmaß die Flexibilität im Text der Publikation thematisiert wird.

Zur anschaulicheren Visualisierung der Bewertungen kommen sogenannte Harvey Balls zum Einsatz. Diese Harvey Balls stellen kreisförmige Ideogramme dar, die in der Lage sind, fünf Zustände zu repräsentieren; hier die Grade der Erfüllung eines Kriteriums (siehe Abbildung 4-14). In der hier angewendeten Symbolik steht ein weiß gefüllter Kreis für den niedrigsten Erfüllungsgrad. Die Erfüllung des Kriteriums steigert sich durch schwarze Viertel im Uhrzeigersinn, bis der Kreis komplett schwarz gefüllt ist, was einer maximalen Erfüllung des Kriteriums entspricht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4-5 dargestellt.

				
0 - 20 %	21 - 40 %	41 - 60 %	61 - 80 %	81 - 100 %

Abbildung 4-14: Skala für Harvey Balls (Rammo 2022)

Tabelle 4-5: Identifizierte Ontologien aus der Logistikdomäne einschließlich Bewertung ihrer Eignung für den Maschinen- und Anlagenbau (Rammo 2022)

		Kriterien			
Ken-nung	Autor, Jahr	Zugänglichkeit	Vollständig-keit	Richtigkeit	Flexibilität
GS1	Anand et al. 2012				
GS5	Fumagalli et al. 2014				
GS6	Gao et al. 2011				
GS8	Glöckner et al.				
GS9	Hamida et al. 2019				
GS11	Herold et al. 2019				
GS13	Knoll et al. 2019				
GS14	Kowalski et al. 2012				
GS15	Lian et al. 2007				
GS18	Kowalski et al. 2012				
GS28	Zelewski et al. 2013				
SD 3	Negri et al. 2017				
M-GS5	Böhm et al. 2008				
M-GS15	Geerts & O'Leary 2014				
M-GS6	Ungureanu et al. 2019				

Die Auswertung zeigt, dass keine der in dieser Literaturrecherche identifizierten Publikationen einen softwaretechnischen Zugang zur jeweiligen Ontologie bietet (Rammo 2022). Dadurch gestaltet sich die direkte Nutzung einer dieser Ontologien als nicht realisierbar. Bislang ist keine Ontologie bekannt, die die Domäne in dem für den hier untersuchten Anwendungsbereich erforderlichen Umfang und der notwendigen Güte abdeckt. Daher lässt sich feststellen, dass keine der untersuchten Ontologien in ihrer ursprünglichen Ausgestaltung für diese Anwendung geeignet und eine neue Ontologie zu entwickeln ist.

Für die Entwicklung einer neuen Ontologie wird sich an dem allgemeinen Vorgehen nach Fernandez-Lopez et al. (1997) orientiert, das mehrere aufeinander folgende Schritte umfasst. In der Konzeptualisierungsphase wird das gesammelte Wissen strukturiert und in einem Konzeptmodell abgebildet. Das Konzeptmodell erfasst die grundlegenden Begriffe, die in der Domäne existieren, sowie die Beziehungen zwischen ihnen. In der Formalisierungsphase wird das Konzeptmodell in ein semi-berechenbares Modell überführt. Dies bedeutet, dass die Beziehungen und Regeln innerhalb der Ontologie formal ausgedrückt werden, sodass die spätere automatische Verarbeitung sowie logischen Schlussfolgerungen ermöglicht werden. Schließlich erfolgt in der Implementierungsphase die Konstruktion eines berechenbaren Modells in einer spezifischen Ontologiesprache, hier OWL. Dieses berechenbare Modell kann von verschiedenen Anwendungen genutzt werden, um das Wissen in der Domäne abzurufen und zu interpretieren. Nachfolgend werden die einzelnen Schritte zur Ontologieentwicklung im Detail vorgestellt:

1. Schritt: Spezifikation

In der Phase der Spezifizierung werden zu Beginn die wesentlichen Details für die Entwicklung der Ontologie festgelegt. Hierbei werden der beabsichtigte Nutzen und Umfang der Ontologie ebenso wie der geplante Anwendungsbereich und die potenzielle Zielgruppe definiert. Die Domäne der Logistik fokussiert hier insbesondere den Maschinen- und Anlagenbau. Innerhalb dieses Wissensbereichs liegt das Hauptaugenmerk auf einer detaillierten Untersuchung der logistischen Abläufe. Der Anwendungsbereich für das Anforderungsspezifikationsdokument wird dementsprechend als „Logistische Prozesse des Maschinen- und Anlagenbaus“ definiert. Die fertiggestellte Ontologie hat das Ziel, die Planung, Steuerung und Überwachung der logistischen Prozesse im Maschinen- und Anlagenbau präziser und effizienter zu gestalten. Sie ermöglicht ein gemeinsames Verständnis für alle Beteiligten im Projekt. Der Zweck der Ontologie wird somit als „Verarbeitung und Strukturierung sämtlicher im Prozess anfallenden Informationen“ beschrieben. Da sämtliche Projektbeteiligte Zugriff auf die zukünftige Ontologie haben sollen, werden die Nutzerrollen als „Monteur:in, Projektplaner:in, Projektleiter:in, Speditionsmitarbeiter:in, Zulieferer:in, Vorgesetzte“ festgelegt.

Die positiv bewerteten Ontologien in den Publikationen „GS13 Knoll et al. 2019“ und „GS15 Negri et al. 2017“ eignen sich besonders gut für die konzeptionelle Wiederverwendung, da sie eine beträchtliche Schnittmenge an Konzepten mit der zu entwickelnden Ontologie aufweisen. Spezifikationsaspekte können ebenfalls aus diesen Publikationen abgeleitet werden. Negri et al. (2017) stellen Kompetenzfragen zur Intralogistik auf, wie beispielsweise zur Materialfluss- und Informationsflussabgrenzung oder zu benötigten Ressourcen. Knoll et al. (2019) fokussieren sich auf die Oberklassen Ressource, Prozess und Akteur, wobei der Prozess hier besonders relevant ist, da er sich in Materialfluss- und Informationsflussaktivitäten aufteilt; eine ähnliche Unterteilung ist

empfehlenswert. Negri et al. (2017) beschreiben des Weiteren einen Teil der „Manufacturing Systems Ontology“ (MSO), insbesondere die Klasse „Komponente“. Hierzu zählen Lager, Ladeeinheiten, Fördermittel, Sensoren, Werkzeuge, Vorrichtungen, Werker und Steuerungen. Eine ähnliche Strukturierung der Komponenten des Logistiksystems ist auch in den hier vorliegenden Forschungsarbeiten anwendbar. Zusätzlich zur Literaturrecherche ermöglicht auch das Forschungsvorhaben „SimCast“ (Gliem et al. 2019) die Adaption einer bereits validierten Ontologie, die Logistikprozesse durch die Oberklassen (Unternehmens-)Bereiche, Logistische Prozesse und Kategorien definiert, wobei die Kategorie-Klasse *Transformationsobjekte*, *Ressourcen*, *Struktur*, *Lenkung*, *Daten* und *Umgebung* umfasst. Die Ressourcen-Klasse ist weiter in *Personal*, *Arbeitsmittel*, *Arbeitshilfsmittel* und *Lagermittel* unterteilt; eine ähnliche Strukturierung kann hier übernommen werden.

Die Spezifizierung legt besonderen Fokus auf die klare Formulierung konkreter funktionaler und nicht-funktionaler Anforderungen. Die funktionalen Anforderungen können mithilfe der oben ausgeführten Kompetenzfragen bestimmt werden. Diese Fragen dienen später auch der Bewertung und Überprüfung der Ontologie (vgl. Stuckenschmidt 2009). Das Resultat der Spezifikationsphase bildet eine Anforderungsspezifikation, die alle erarbeiteten Informationen umfasst; diese sind in Anhang K zusammengefasst.

2. Schritt: Konzeptualisierung

Im Anschluss an die Spezifizierung erfolgt die Konzeptualisierung, in der das Domänenwissen in ein Konzeptmodell überführt wird. Hierbei wird das relevante Domänenwissen generiert bzw. gesammelt und eine Zusammenstellung von Begriffen, ein Glossar, aus relevanten Domänenbegriffen erstellt. Dieses Glossar kann Konzepte, Instanzen, Relationen und Eigenschaften beinhalten; die Begriffe innerhalb des Glossars können demnach Nomen und Verben sein (vgl. Fernandez-Lopez et al. 1997). Das zur Verfügung stehende Wissen stammt insbesondere aus den Vorarbeiten zur Modellierung der Logistikprozesse sowie der Methodik zur Technologieauswahl. Die in diesem Zusammenhang verwendeten Begriffe stellen somit eine Grundlage für das Basisvokabular dar und werden in einer Microsoft Excel[®]-Tabelle dokumentiert. Anschließend werden die Begriffe des Glossars in einfache Aussagen umgewandelt; einfache Aussagen können folgendermaßen lauten:

- Transport ist ein logistischer Prozess
- Transportmittel ist ein Arbeitsmittel
- Transport benötigt Transportmittel
- Transportmittel hat einen Ort
- Transport hat eine Startzeit und einen Startpunkt
- Ort, Startzeit und Startpunkt sind Transportdaten

Innerhalb dieser Aussagen repräsentieren Nomen die späteren Klassen oder Instanzen, während Verben die Relationen darstellen. Auf diese Weise wird das erfasste Wissen zunächst in sprachlicher Form strukturiert und kann anschließend textuell oder graphisch in einer Taxonomie dargestellt werden. Der Aussagenkatalog wird in einer Microsoft Excel®-Tabelle dokumentiert; ein Anspruch auf Vollständigkeit liegt aufgrund der Komplexität und Vielfalt der möglichen Zusammenhänge nicht vor.

Bei näherer Betrachtung des Aussagenkatalogs lässt sich erkennen, dass verschiedene Begriffe jeweils als Oberklassen in der Ontologie betrachtet werden können, die sich alle auf derselben Hierarchieebene befinden: „Bereich“, „Logistischer Basisprozess“, „Ressource“ und „Transformationsobjekt“ sind zur umfassenden Abbildung logistischer Prozesse relevant und „Technologie“, „Kriterium“, „Technologiekette“ und „Profil“ für die Technologieauswahl. Die Verwendung des Verbs „ist“ (Abbildung 4-14, blauer Pfeil) weist auf eine Vererbungsrelation hin und impliziert somit eine taxonomische Beziehung zwischen den beiden Begriffen; die Abbildung 4-15 zeigt zum besseren Verständnis einen kleinen Ausschnitt des Ontologiekonzeptes. Zum Beispiel wird durch die Aussage „Übertragungsgeschwindigkeit ist ein Kriterium“ deutlich gemacht, dass die *Übertragungsgeschwindigkeit* eine Unterklasse von *Kriterium* ist und sich dementsprechend auf einer niedrigeren Hierarchieebene befindet. Durch eine weitere Spezifizierung, wie beispielsweise die Festlegung auf eine konkrete drahtlose Übertragungstechnologie, können Instanzen bzw. Objekte (engl. Individuals) erstellt werden (Abbildung 4-14, roter Pfeil zur Raute = Individual). Über das Verb „hat“ (Abbildung 4-14, orangener Pfeil) wird hervorgehoben, dass es sich um die Zuweisung einer Eigenschaft handelt. Eine Übertragungstechnologie „Long Term Evolution“ (LTE) hat beispielsweise die Übertragungsgeschwindigkeit „50 Mbits/s“.

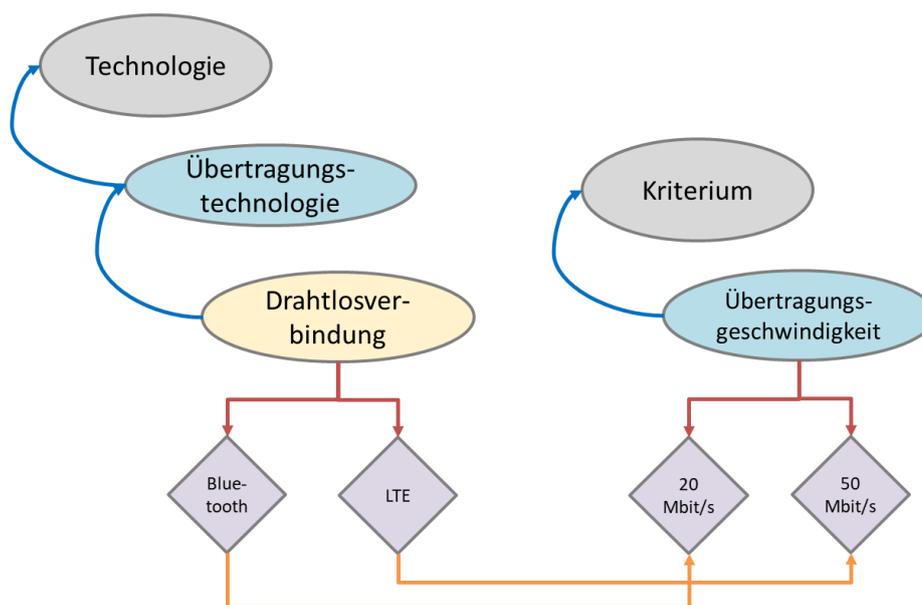


Abbildung 4-15: Einfaches Beispiel der Klassen und Beziehungen aus dem Ontologiekonzept

Neben den Verben „hat“ und „ist“ gibt es noch weitere Verben, die verschiedene Relationen zwischen den entsprechenden Begriffen beschreiben, wie etwa „benötigt“ oder „gehört zu“. Des Weiteren lassen sich Eigenschaften eines Objektes näher über Dateneigenschaften (engl. Data properties) bestimmen und sind nachfolgend mit grünen Pfeilen gekennzeichnet. Der Informationskasten in Abbildung 4-16 bietet einen Überblick der verwendeten Symbolik bei der Konzeptmodellierung.

	Bezeichnung	Definition
	Klassen und Klassenhierarchie (Unterklassen)	Klasse: Menge von Objekten mit gleichen/ähnlichen Eigenschaften
	Objekte (engl. Individuals)	Die Klassen werden angereichert mit Objekten. Das Objekt einer Klasse muss alle Eigenschaften der Klasse erfüllen.
	Klassenbeziehungen (textueller Verweis auf Klasse)	Relationen beschreiben die Beziehungen zwischen Klassen/Objekten. Relationen und Eigenschaften können vererbt werden.
	Dateneigenschaften (engl. Data Properties)	Data Properties sind das Objekt kennzeichnende Eigenschaften.

Abbildung 4-16: Legende für Konzeptmodell

Zur Abbildung von Logistikprozessen werden die vier bereits genannten Oberklassen „Bereich“, „Logistischer Basisprozess“, „Ressource“ und „Transformationsobjekt“ näher betrachtet (siehe Abbildung 4-17). Grundsätzlich können alle Klassen über ein Kürzel eindeutig identifiziert werden. So bekommt der Bereich die Abkürzung „B“ und ist nachfolgend als B_Bereich in dem Konzeptmodell wiederzufinden. Analog verhält es sich bei allen weiteren Klassen. Nachfolgend werden die vier Oberklassen kurz beschrieben.

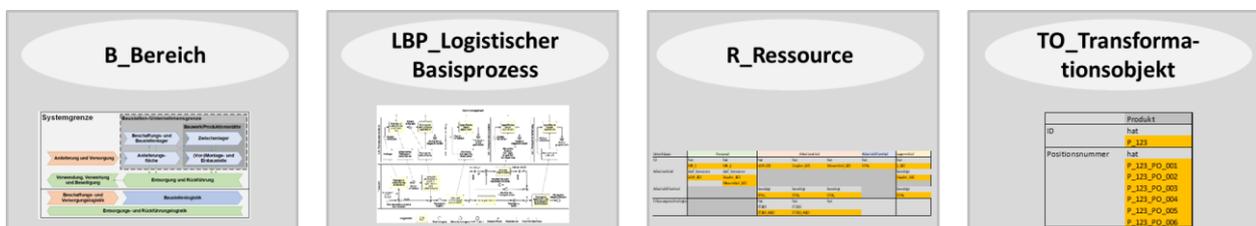


Abbildung 4-17: Ontologieklassen zur Abbildung von Logistikprozessen

Der Oberklasse B_Bereich sind analog zu den Bereichen innerhalb der Systemgrenze (vgl. dazu Abbildung 4-3) sieben Unterklassen zugeordnet worden (siehe Abbildung 4-18). Innerhalb eines Bereiches finden verschiedene logistische Basisprozesse (vgl. dazu Abschnitt 4.2.2) statt (siehe Abbildung 4-19), sodass die Beziehung zwischen einem Bereich und einem logistischen Basis-

prozess über das Verb „hat“ beschrieben wird. Die neun logistischen Basisprozesse (LBP), nachfolgend nur noch als Logistikprozesse benannt, finden nicht in jedem Bereich statt, d. h., dem Bereich Anlieferung und Versorgung werden nur zwei Prozesse zugewiesen, wohingegen im Zwischenlager acht verschiedene Prozesse stattfinden können.

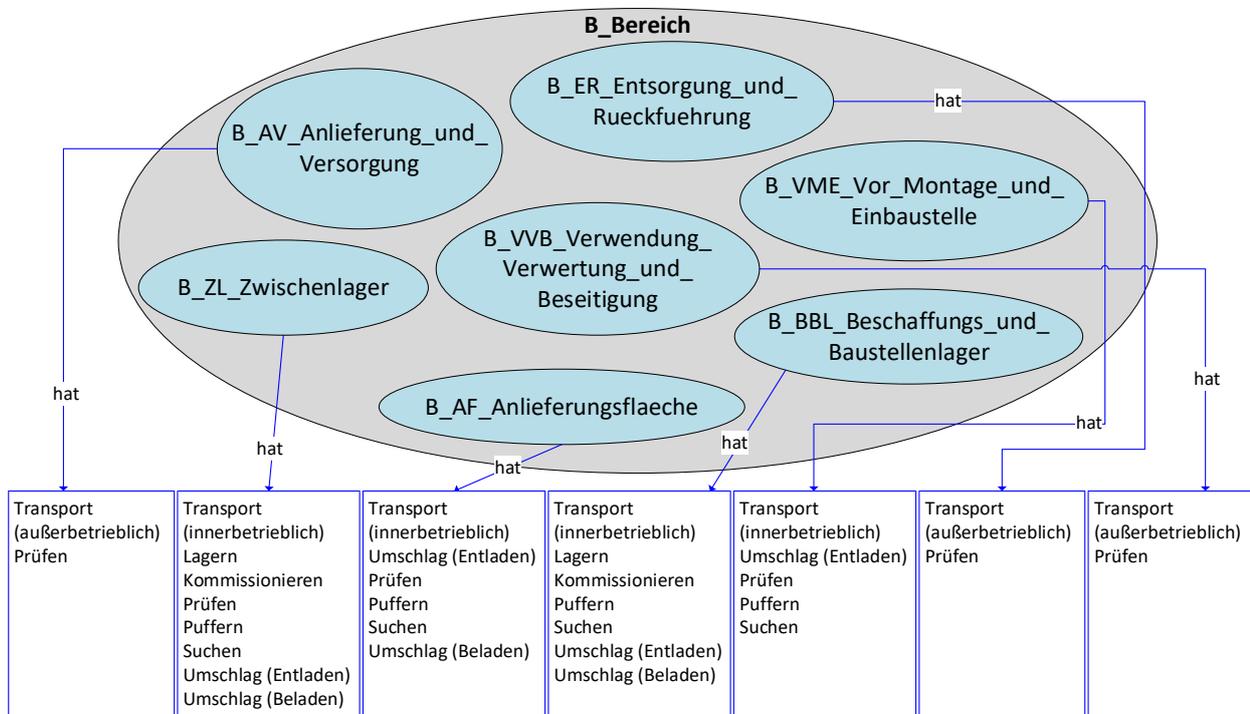


Abbildung 4-18: Ontologiekonzept Oberklasse B_Bereich

Die Logistikprozesse liegen in einer Vorgänger-Nachfolger-Abhängigkeit zueinander. Dabei wird sich an den logistischen Referenzprozessen in Abschnitt 4.2.2 orientiert. In Abbildung 4-19 sind die Abläufe der Logistikprozesse exemplarisch für die Anlieferungsfläche über „hat_Nachfolger“ konkret festgelegt worden. Über die Farbcodierung der Klassen wird erkenntlich, dass beispielsweise der innerbetriebliche und außerbetriebliche Transport als Unterklasse des Transportes geführt werden. Die untersten Klassenebenen umfassen die neun betrachteten Logistikprozesse. Jeder der neun Logistikprozesse lässt sich durch Data Properties beschreiben. Dabei wird zwischen Soll- und Ist-Daten unterschieden. Soll-Daten, wie z. B. der Soll-Startort oder Soll-Endort eines außerbetrieblichen Transportes, sind Planungsdaten und werden über das Projektmanagement festgelegt. Ist-Daten, wie z. B. der Ist-Startzeitpunkt oder Ist-Endzeitpunkt, ergeben sich bei der Prozessausführung und werden im laufenden Prozess erfasst und gespeichert.

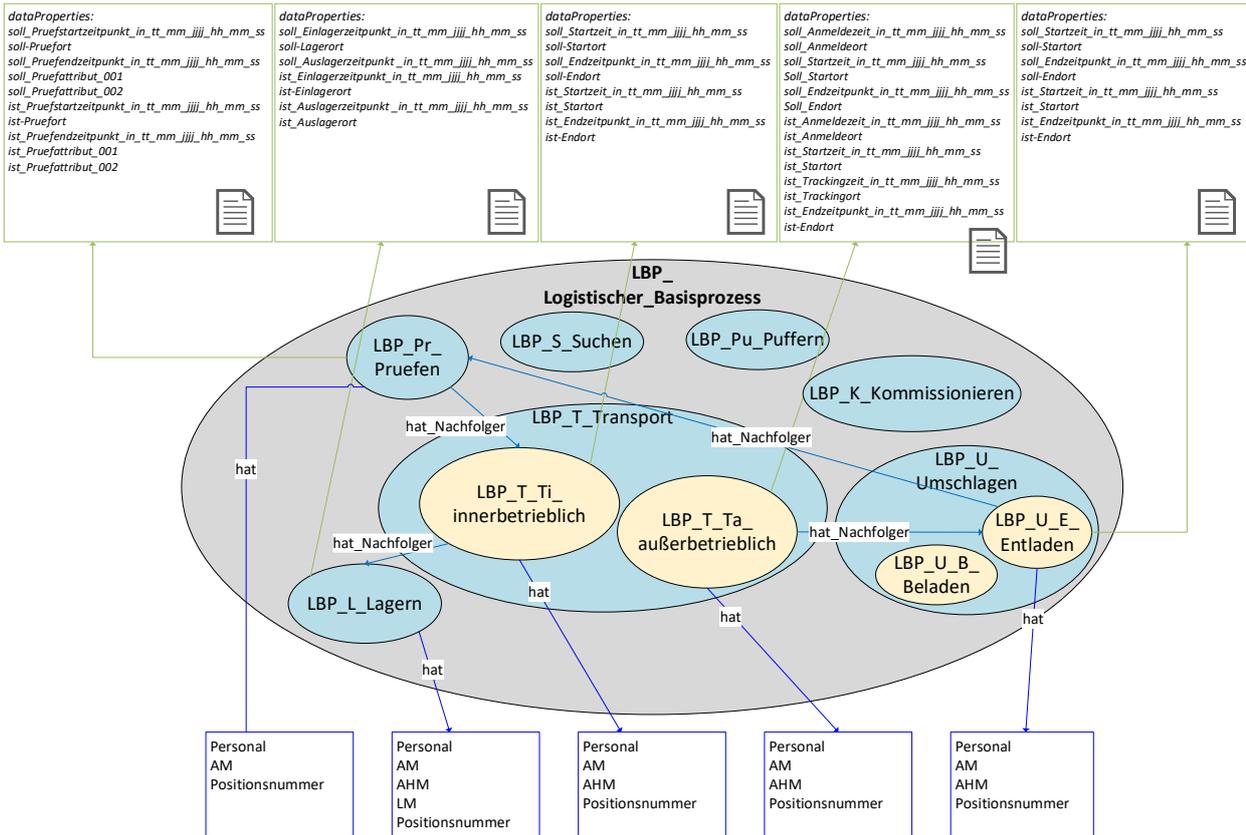


Abbildung 4-19: Ontologiekonzept Oberklasse LBP_Logistischer_Basisprozess

Wird ein neuer Auftrag angelegt, der z. B. die Montage einer Anlage bei einem Kunden umfasst, ergeben sich durch die auftragspezifischen Gegebenheiten konkrete Bereiche (B) auf der Baustelle, die durch Individuals in der Klasse B_Bereich festgehalten werden (z. B. B_AF_001 = konkreter Bereich (z. B. AF = Anlieferungsfläche) auf der Baustelle für einen spezifischen Auftrag (A)). Des Weiteren werden diesen konkreten Bereichen konkrete Logistikprozesse zugewiesen (z. B. A_Ta_001 = konkreter außerbetrieblicher Transport (Ta) zu einer Baustelle entsprechend eines spezifischen Auftrags). Grundsätzlich erbt das Individual die Eigenschaften der Klasse, jedoch sind die Zuweisungen infolge einer individuellen Planung anpassbar, d. h., aus dem Referenzprozess findet beispielsweise nur eine kleinere Anzahl an Logistikprozessen statt. Dies ist aufgrund der optionalen Prozessabläufe in den Referenzprozessen möglich, d. h., es muss zum Beispiel kein Prüfprozess erfolgen, dieser kann aber laut Referenzprozess optional stattfinden.

Zur Durchführung der Logistikprozesse werden Ressourcen (R) benötigt, die über das Verb „hat“ zwischen den Klassen LBP_Logistischer_Basisprozess und R_Ressource beschrieben werden. Als Ressource werden Lagermittel, Arbeitsmittel, Arbeitshilfsmittel und Personal geführt, die wiederum durch Data Properties näher beschrieben werden (siehe Abbildung 4-20, rechts). Ein konkreter Stapler (z. B. Stapler_001), der generell einem Unternehmen zum Einsatz auf einer Baustelle zur Verfügung steht, wird als Individual angelegt und mit konkreten Eigenschaften versehen. Dem konkreten Logistikprozess auf der Baustelle wird die laut Planung angeordnete Ressource zugewiesen. Analog verhält es sich mit den weiteren Ressourcen, wie z. B. Personal.

Außerdem ist das eigentliche Transformationsobjekt (TO) zu betrachten, das durch den Logistikprozess transformiert (beispielsweise transportiert oder gelagert) wird. Dafür steht die Oberklasse TO_Transformationsobjekt zur Verfügung (siehe Abbildung 4-20, links). Hier wird das Produkt mit seinen Positionsnummern (PO) angelegt und mit den entsprechenden Data Properties versehen. Die für einen konkreten Logistikprozess relevanten Positionsnummern werden entsprechend über die konkreten Individuals verknüpft.

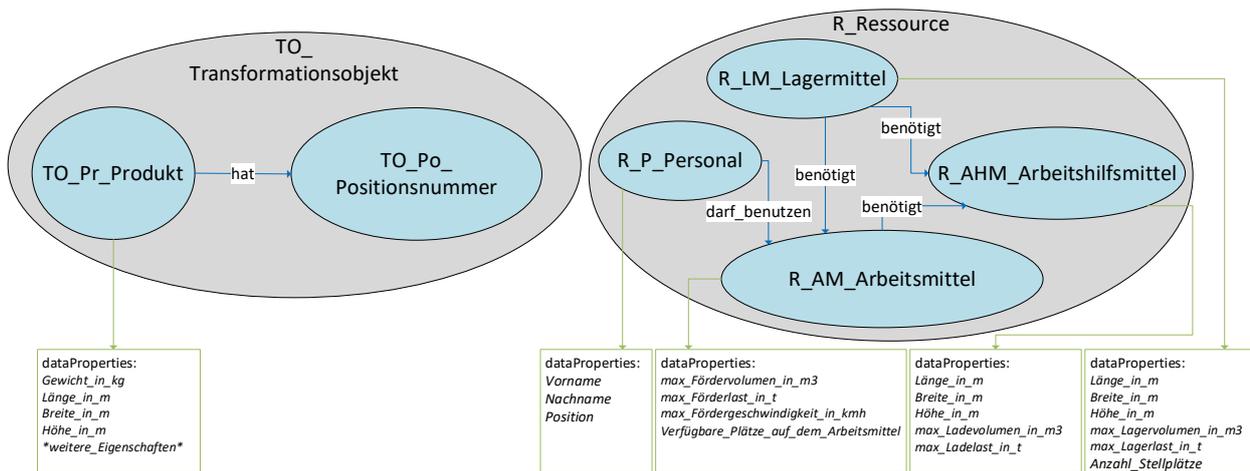


Abbildung 4-20: Ontologiekonzept Oberklassen TO_Transformationsobjekt (links) und R_Ressource (rechts)

Die bisherige Datenstruktur, die über die Data Properties beschrieben wird, liefert das Grundgerüst für den Digitalen Schatten. Durch den Einsatz von Datenidentifikations-, -erfassungs- und Übertragungstechnologien auf der Baustelle können die Datensätze direkt mit semantisch korrektem Bezug persistent gespeichert werden und stehen zur weiteren Verwendung zur Verfügung. Dafür müssen konkrete Technologien mit den entsprechenden Logistikprozessen verknüpft werden. Die Auswahl dieser Technologien unterliegt der entwickelten Methodik (vgl. dazu Abschnitt 4.2.6); die ausgewählte Technologie stellt das Bindeglied zwischen dem Auswahlprozess und dem Digitalen Schatten her. Für die Technologieauswahl werden die vier Oberklassen „T_Technologie“, „K_Kriterium“, „TK_Technologiekette“ und „P_Profil“ festgelegt (siehe Abbildung 4-21) und nachfolgend näher beschrieben.

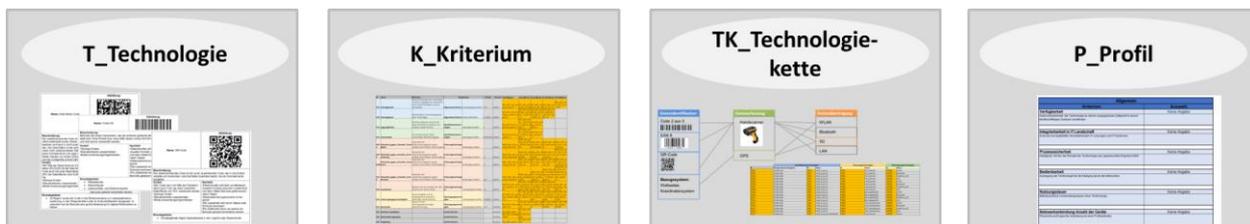


Abbildung 4-21: Ontologieklassen zur Technologieauswahl

In der Oberklasse T_Technologie befinden sich alle Technologien (T) aus dem Technologiekatalog (vgl. dazu Abschnitt 4.2.4). Diese sind entsprechend ihrer Art den Unterklassen Identifikations-, Erfassungs- oder Übertragungstechnologien zugeordnet (siehe Abbildung 4-22). Da durch

ihre Kombination Technologieketten entstehen, wird deren Beziehung über das Verb „benötigt“ beschrieben: Eine Identifikationstechnologie benötigt zum maschinellen Auslesen eine Erfassungstechnologie und diese wiederum zur weiteren Verwendung in anderen Systemen eine Übertragungstechnologie. Auf der untersten Klassenebene befinden sich die Technologien, wobei sich die Hierarchie an der Systematik der Technologien aus Abschnitt 4.2.4 orientiert (ein QR-Code ist ein Matrixcode, dieser wiederum ein 2D-Barcode, der wiederum zu den Barcodes gehört und eine Identifikationstechnologie ist).

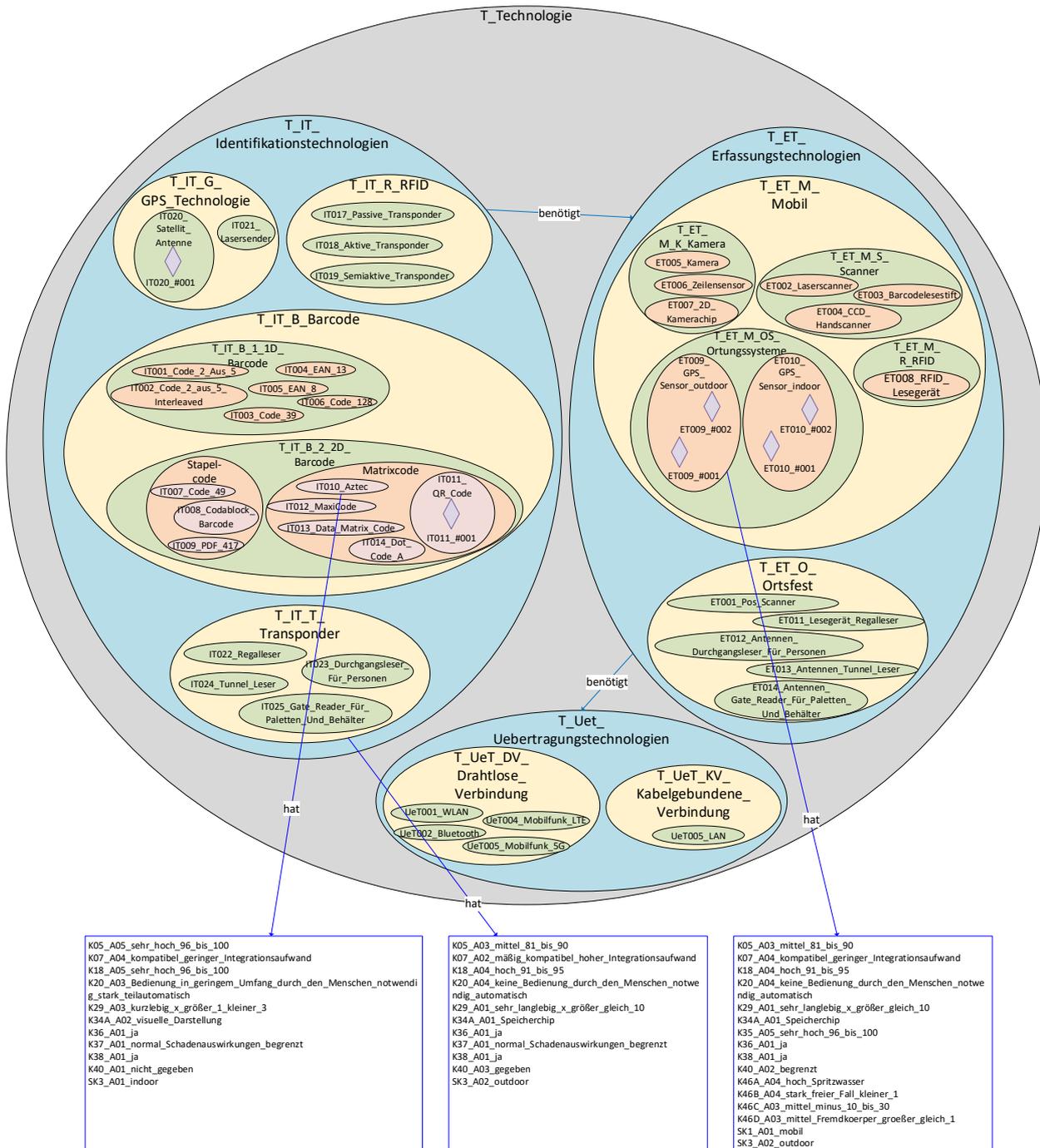


Abbildung 4-22: Ontologiekonzept Oberklasse T_Technologie

Jede Technologie wird durch konkrete Ausprägungen von Bewertungskriterien beschrieben (vgl. dazu Abschnitt 4.2.5). Die Gesamtheit aller Ausprägungen liegt in der Oberklasse K_Kriterium (siehe Abbildung 4-23). Die einzelnen Kriterien (K) sind entsprechend der Strukturierung in Abbildung 4-10 in Allgemeine Kriterien, Kriterien für Identifikations-, Erfassungs- oder Übertragungstechnologien und Hilfskriterien gegliedert; auch die Gruppierung der Kriterien (z. B. in Leistungseigenschaften) wird übernommen. Die einzelnen Ausprägungen liegen als Individuals innerhalb der Klasse des zugehörigen Kriteriums vor. Ausgehend von den Eigenschaften der einzelnen Technologien, die im Zuge der Technologiebewertung in Abschnitt 4.2.6 vorgenommen wurde, werden Verbindungen zu den Individuals gesetzt. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, die Technologieauswahl über das Wissen in der Ontologie vorzunehmen.

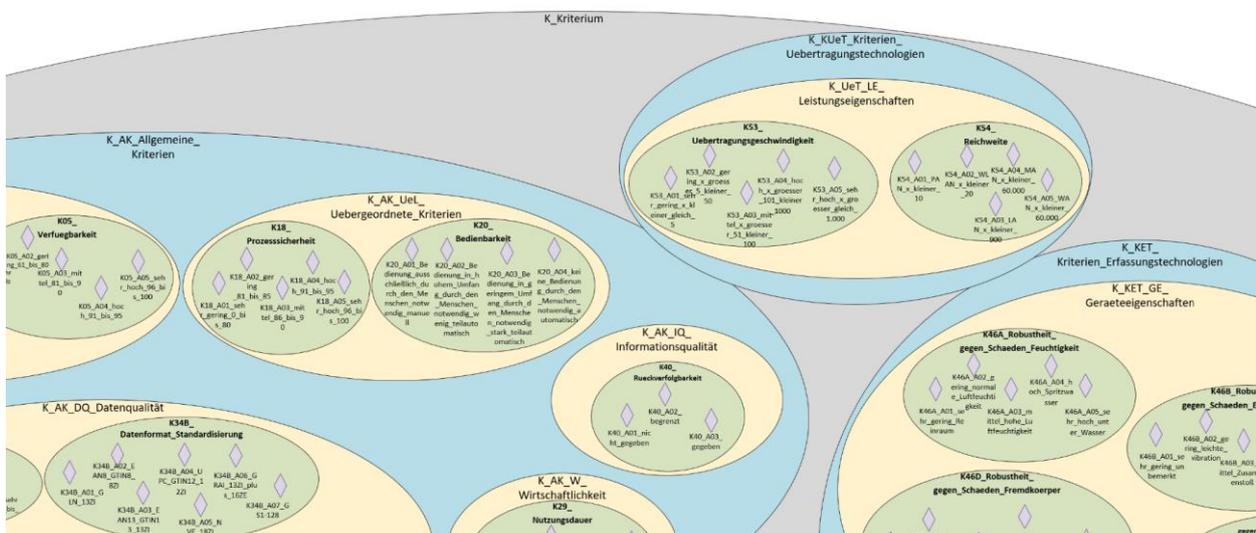


Abbildung 4-23: Ontologiekonzept Oberklasse K_Kriterium (Auszug)

Da der Technologieauswahlprozess eine Technologiekette als Ergebnis ausgibt, sind die aktuell 330 technisch sinnvollen Kombinationen aus Identifikations-, Erfassungs- und Übertragungstechnologien in der Oberklasse TK_Technologiekette als Individuals gespeichert. Jede Technologiekette ist eindeutig durch die Verbindung zu den drei Technologien definiert (siehe Abbildung 4-24, links). Damit in der Praxis für konkrete Use Cases bewährte Technologieketten entsprechend gekennzeichnet werden können, ist die Oberklasse P_Profil vorhanden (siehe Abbildung 4-24, rechts). Diese speichert jeden Auswahlprozess als Profil (P) ab und hält damit die ausgewählte Technologiekette anhand der geforderten Ausprägungen fest; dadurch kann die Auswahl im Nachgang jederzeit nachvollzogen werden. Des Weiteren lassen sich Erfahrungswerte über Data Properties ablegen, d. h., ein konkreter Use Case wird beschrieben, zudem wird eine Bewertung abgegeben, wie sich die Technologiekette für den Use Case im Einsatz geeignet hat. Eine geeignete Technologiekette für einen konkreten Use Case wird als Technologieschablone deklariert.

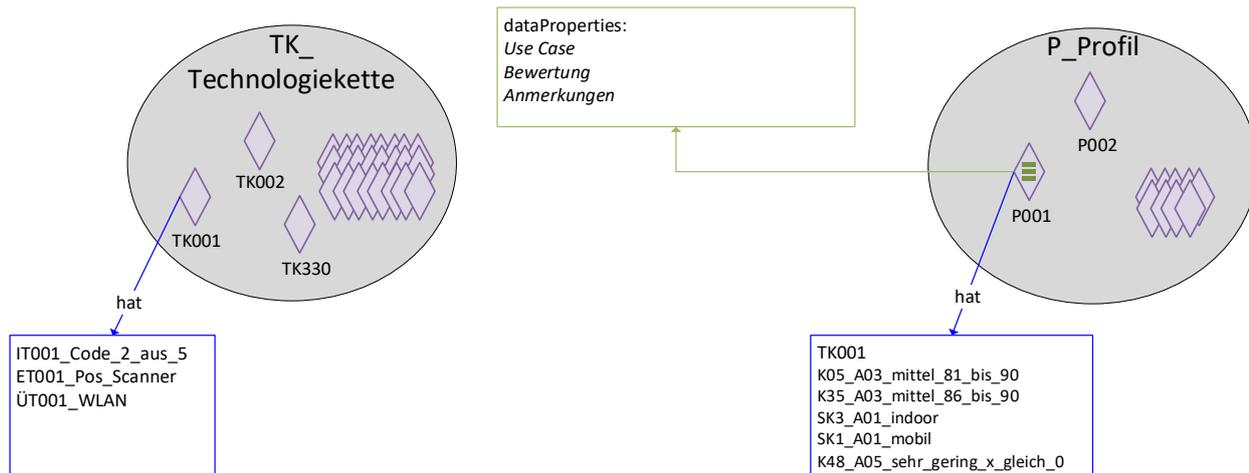


Abbildung 4-24: Ontologiekonzept Oberklassen TK_Technologiekette (links) und P_Profil (rechts)

Die Konzeptentwicklung ist an dieser Stelle abgeschlossen.

3. Schritt: Formalisierung

Die textuelle oder graphische Taxonomie liegt zunächst nicht als maschinenlesbare Daten vor, d. h., das gesammelte Wissen muss formalisiert werden. Dies geschieht über die Beschreibung des Wissens anhand einer definierten Syntax und Semantik, wie sie bei Beschreibungslogiken oder „Frames“ vorkommen. Über Beschreibungslogiken kann dann das konzeptuelle Modell in einem semi-berechenbaren Modell formalisiert werden (vgl. Fernandez-Lopez et al. 1997). Je nach Ontologie-Editor kann auf eine manuelle explizite Formalisierung verzichtet werden, da diese häufig automatisch im Hintergrund erfolgt. Dies ist ebenfalls bei dem im Rahmen dieses Forschungsprojektes eingesetzten Ontologie-Editor der Fall, weshalb auf den Schritt der Formalisierung nicht weiter eingegangen wird.

4. Schritt: Implementierung

Die abschließende Entwicklungsphase umfasst die Implementierung des ausgearbeiteten Konzeptmodells innerhalb einer Softwareumgebung. Hierbei wird mittels eines Ontologie-Editors ein berechenbares Modell in einer Ontologiesprache erstellt. Dieser Konstruktionsprozess beginnt mit der Erstellung der Klassenhierarchie und wird durch die Verknüpfung von Attributen fortgeführt. Zur möglichst genauen Beschreibung des Wissens erfolgt im letzten Schritt die Definition von Axiomen bzw. Restriktionen (vgl. Stuckenschmidt 2009).

Als Ontologie-Editor kommt Protégé® (Protégé 2023) zum Einsatz; hierbei handelt es sich um eine Open-Source-Software zur Erstellung und Verwaltung von Ontologien. Die Ontologie-Entwicklungsumgebung ermöglicht, komplexe Wissensmodelle zu erstellen, zu bearbeiten und zu verwalten und bietet eine benutzerfreundliche graphische Bedienoberfläche für die Definition und Organisation semantischer Modelle. Unter Nutzung dieser Software wird die Ontologie entsprechend des entwickelten Konzeptmodells aufgebaut, indem Klassen und Eigenschaften definiert,

Beziehungen festgelegt sowie Regeln formuliert werden. Die Software unterstützt verschiedene Ontologie-Sprachen (wie z. B. RDF, OWL und RDFS; vgl. dazu Abschnitt 3.3), um komplexe semantische Strukturen zu erstellen, die für die Wissensrepräsentation und -verarbeitung verwendet werden können; die hier entwickelte Ontologie wird in der semantischen Web-Sprache OWL codiert. Dabei wird die OWL-Datei in einer textbasierten Syntax erstellt und kann in verschiedenen Texteditoren bearbeitet werden. Sie folgt den formalen Regeln und Strukturen der OWL-Sprache und kann von Ontologie-Editoren – hier: Protégé® – gelesen und interpretiert werden.

Ein Auszug der Ontologie ist in Abbildung 4-25 einzusehen. Hier sind alle Oberklassen aus dem Konzeptmodell wiederzufinden und farblich über eine kreisförmige Symbolik gekennzeichnet. Für die Überprüfung des umgesetzten Konzeptmodells wurden beispielhafte Unternehmensdaten herangezogen, wodurch sich Individuals ergeben haben, wie z. B. ein konkreter Stapler oder eine Baustelle beim Kunden mit konkreten Bereichen. Diese sind über eine rechteckige Symbolik erkenntlich gemacht worden und farblich identisch zu den zugehörigen Klassen. So liegt eine kundenindividuelle Anlage mit verschiedenen Positionen vor (Abbildung 4-25, grau), die zur Baustelle geliefert (Anlieferung), vor Ort zunächst auf der Anlieferungsfläche geprüft und dann in ein Zwischenlagen gebracht werden. Diese Bereiche (Abbildung 4-25, grün) mit ihren entsprechenden Logistikprozessen (Abbildung 4-25, rot) werden des Weiteren mit den benötigten Ressourcen verknüpft (Abbildung 4-25, blau). Bei der Datenpflege wurde ersichtlich, dass die angelegten Individuals immer auf einen Auftrag zu buchen sind. Aus diesem Grund wurde nachträglich eine Oberklasse „Auftrag“ hinzugefügt, in der alle Informationen zusammenlaufen.

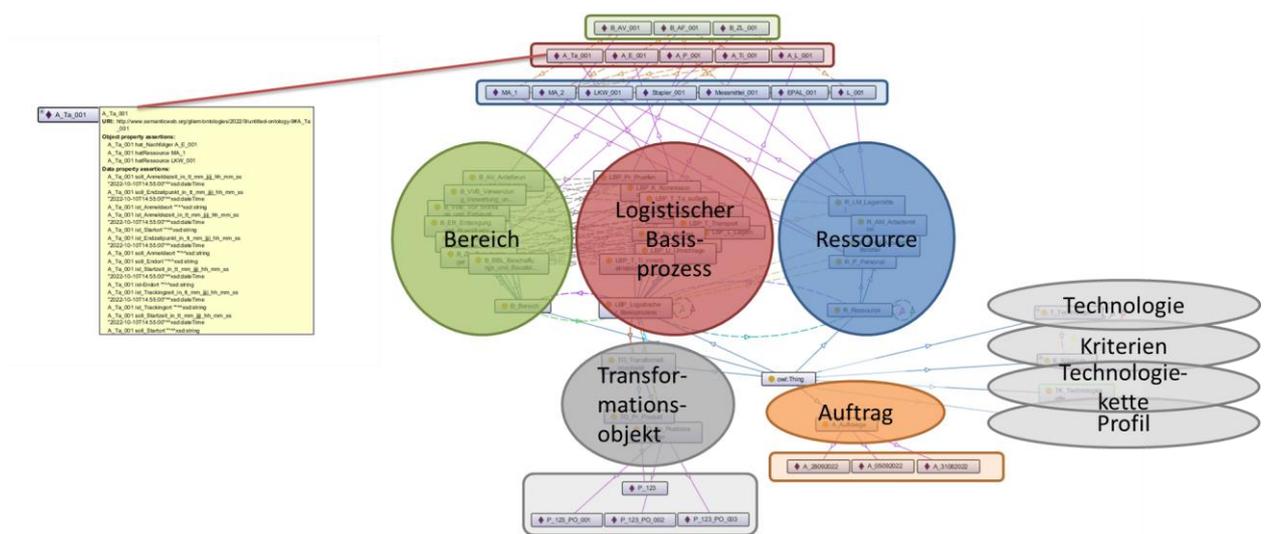


Abbildung 4-25: Ontologie mit Fokus auf den Digitalen Schatten (Auszug)

Für den außerbetrieblichen Transport zur Baustelle wird der Digitale Schatten über die Data Properties beschrieben (Abbildung 4-25, gelber Kasten). Die Datensätze sind eindeutig codiert und können z. B. den Standort eines Lastkraftwagen (LKW) mit einem Zeitstempel abspeichern; dabei liegt nicht nur ein Datensatz mit Geokoordinaten + Zeitstempel vor, sondern es ist durch die semantische Beschreibung der Logistikprozesse eine eindeutige Zuordnung zu einem konkreten Auftrag „A_28092022“ möglich, der eine konkrete Anlieferung „B_AF_001“ zu einer Baustelle umfasst, in dem ein außerbetrieblicher Transport „A_Ta_001“ mit dem LKW „LKW_001“ von dem Mitarbeitenden (MA) „MA1“ durchgeführt wird, bei dem das Material „P_123_PO_005“ transportiert wird. Wurde für den Logistikprozess „A_Ta_001“ bereits eine Technologiekette ausgewählt, wie z. B. „TK243“ bestehend aus einem Bezugssystem, einem GPS-Sensor und dem Mobilfunknetz LTE, werden die Daten direkt dem außerbetrieblichen Transport zugewiesen und dort persistent gespeichert. Die konkreten Technologien liegen als Individuals vor und sind mit der eingesetzten Ressource „LKW_001“ verknüpft. Die Zusammenhänge sind vereinfacht in Abbildung 4-26 dargestellt.

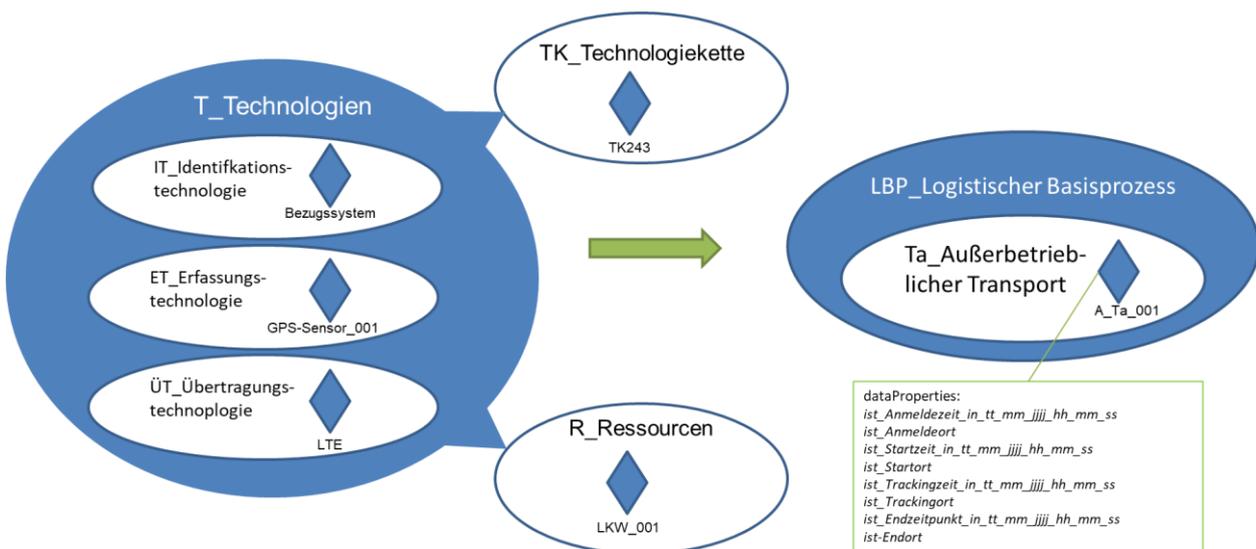


Abbildung 4-26: Verknüpfung der Logistikprozesse mit der Technologieauswahl

Wird eine geeignete Technologie zur Datenidentifikation, -erfassung und -übertragung noch gesucht, kann auf die Methodik zur Technologieauswahl zurückgegriffen werden (Abschnitt 4.2.6). Das Wissen zur Technologieauswahl ist ebenfalls im Konzeptmodell berücksichtigt worden. Die grundlegende Struktur der Ontologie für die Technologieauswahl ist in Abbildung 4-27 dargestellt: Grundsätzlich besteht eine Technologiekette (hellblau) aus einer Identifikationstechnologie (grün), einer Erfassungstechnologie (rot) und einer Übertragungstechnologie (orange), die über verschiedene Kriterien (lila) anhand ihrer Ausprägungen (dunkelblau) beschrieben werden. Die Klasse „Profil“ ist zunächst leer und füllt sich nach Nutzung der Methodik zur Technologieauswahl mit Individuals, die dann jeweils mit der ausgewählten Technologiekette und den ausgewählten Kriterienausprägungen verknüpft sind.

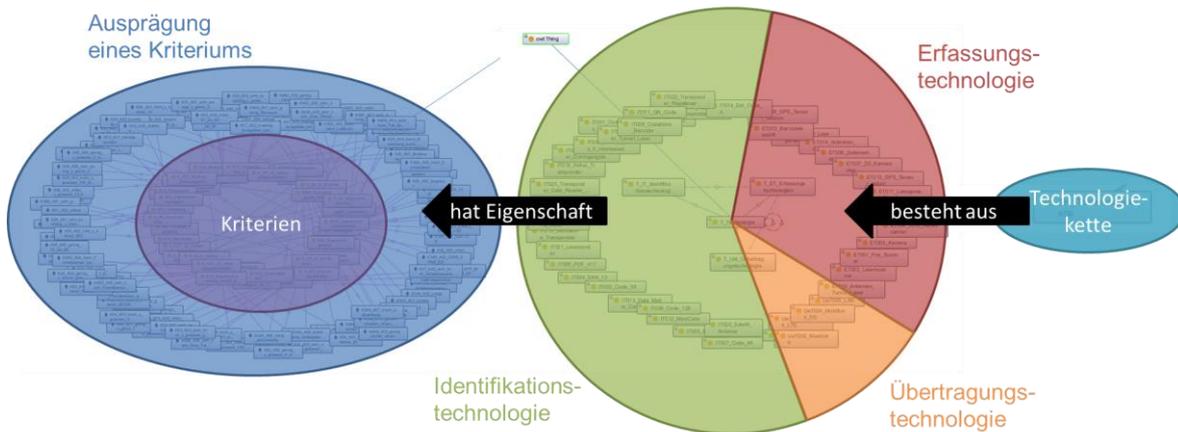


Abbildung 4-27: Ontologie mit Fokus auf die Technologieauswahl (Auszug)

Die Gewährleistung der Ontologievalidität basiert auf einer fortlaufenden Überprüfung der Eingaben und Ausgaben auf ihre Richtigkeit. Hierbei kommen vier Methoden zum Einsatz:

OntoGraf: Der OntoGraf bietet eine visuelle Darstellung der Ontologie. Diese erlaubt die Veranschaulichung von Klassen, Subklassen, Individuen und ihren Beziehungen. Durch die graphische Repräsentation können die Struktur und Vollständigkeit der Ontologie nachvollzogen und diskutiert werden. Der OntoGraf ermöglicht somit eine frühe Verifikation.

OWL-Reasoner: Der OWL-Reasoner dient der Überprüfung der Konsistenz der Ontologie. Durch die Definition von ObjectProperties werden mittels des OWL-Reasoners aufbereitete Informationen angezeigt, die durch logische Schlussfolgerungen abgeleitet werden. Unstimmigkeiten zwischen den geplanten und tatsächlichen Zuständen der Ontologie werden damit erkannt und können behoben werden.

DL-Abfragen: Während der Umsetzung der Ontologie in Protégé® können durch einfache Anfragen Funktionalitäten der Ontologienutzung getestet und Fehler aufgedeckt werden. Mithilfe von DL-Abfragen (DL = Description Logic) kann bereits während der Entwicklung nach Klassen, Subklassen und Individuen gesucht werden, um deren Vollständigkeit zu prüfen. Die definierten Beziehungen zwischen den Klassen und Individuen werden anhand ihrer festgelegten Bedingungen getestet.

SPARQL-Abfragen: SPARQL-Abfragen werden in einer datenbankspezifischen Abfragesprache ähnlich SQL formuliert. Die Ergebnisse der Abfragen werden im XML-Format (XML = Extensible Markup Language) ausgegeben. Durch den Einsatz des OWL-Reasoners können komplexere Abfragen mittels SPARQL durchgeführt werden. Die Gewährleistung der Ontologievalidität erfolgt erst durch die Überprüfung mittels SPARQL-Abfragen, um sicherzustellen, dass die Ontologie die gewünschten Funktionalitäten erfüllt.

Die Evaluation der Ontologie wird im nachfolgenden Abschnitt 4.2.8 beschrieben. Abschließend wird im Zuge der Implementierungsphase auf die Möglichkeit der Nutzung der Ontologie eingegangen. Je nach Anforderungen und Verwendungskontext kann eine Ontologie auf verschiedene Arten genutzt werden: lokal, Intranet oder Internet. **Lokal** kann eine Ontologie auf einem einzigen Computer oder in einem begrenzten Netzwerk eingesetzt werden, um dort spezifisches Wissen zu repräsentieren und abzurufen. Dies ermöglicht die Nutzung der Ontologie ohne externe Zugriffe und gewährleistet die Kontrolle über die Daten. Im **Intranet**, also einem firmeninternen Netzwerk, kann eine Ontologie zur gemeinsamen Wissensverwaltung genutzt werden. Dies erleichtert den Informationsaustausch, die Kollaboration und die Suche nach relevanten Informationen innerhalb der Organisation. Die Ontologie kann als zentrale Wissensquelle dienen und die Effizienz der internen Abläufe verbessern. Im **Internet** hingegen kann eine Ontologie öffentlich zugänglich gemacht werden, entweder als eigenständige Ressource oder als Teil eines semantischen Webservices. Auf diese Weise können externe Anwendungen, Dienste oder Plattformen die Ontologie nutzen, um Informationen zu erweitern, zu verknüpfen oder zu analysieren. Dies ermöglicht eine breite und vielfältige Nutzung der Ontologie über verschiedene Anwendungen und Organisationen hinweg.

Die Wahl der Nutzungsart hängt von den spezifischen Anforderungen, der Sicherheit, der Verfügbarkeit und den Zugriffsrechten ab. In diesem Forschungsvorhaben wird eine Variante gewählt, die einen Zugriff auf die Ontologie über einen „Localhost“, also über eine Standard-Host-Name-Adresse für den lokalen Rechner, ermöglicht. Dadurch besteht die Möglichkeit, auf Dienste oder Ressourcen auf derselben Maschine zuzugreifen, wie der Apache Jena Fuseki-Server. Diese Softwarekomponente wurde im Kontext des Apache Jena-Frameworks entwickelt (Fuseki 2023) und verarbeitet RDF-Daten. RDF bietet die grundlegende Syntax und Struktur, um Informationen zu repräsentieren und Beziehungen darzustellen. OWL erweitert diese Möglichkeiten, indem es eine formale Sprache zur Definition von Ontologien bereitstellt, die wiederum auf RDF aufbauen. RDF wird also verwendet, um Wissen in Form von Tripeln (Subjekt, Prädikat, Objekt) darzustellen. Die Speicherung, Abfrage und Verwaltung von RDF-Daten ermöglicht der Fuseki-Server über das SPARQL-Protokoll. Der Fuseki-Server stellt eine Implementierung eines SPARQL-Endpunktes dar, über den Anwendungen SPARQL-Abfragen an die darin gespeicherten RDF-Daten senden können. Die Möglichkeiten des Fuseki-Servers werden bei der Entwicklung der Demonstrationsplattform in Abschnitt 4.2.10 genutzt.

4.2.8 Evaluation der Methodik und des semantischen Modells

Die Methodik zur Technologieauswahl (Abschnitt 4.2.6) und das semantische Modell (Abschnitt 4.2.7) wurden mit drei Personen im Oktober 2022 in mehreren zweistündigen Terminen evaluiert. Die Evaluation ist in zwei Teile gegliedert, wobei der erste Teil sich mit der Methodik und der zweite Teil mit dem semantischen Modell befasst.

Nachfolgend wird auf beide Evaluationen näher eingegangen.

Teil 1: Methodik zur Technologieauswahl

Die Methodik besteht zum einen aus einer systematischen Vorgehensweise zur Technologieauswahl (nachfolgend Methodik genannt) und zum anderen aus einer ausführbaren Anwendung in Microsoft Excel® (nachfolgend kurz Anwendung genannt). Zur Bewertung der Methodik und Anwendung werden somit zwei verschiedene Perspektiven eingenommen: die Ingenieurssicht zur näheren Betrachtung der methodischen Struktur und die Nutzersicht mit besonderem Augenmerk auf die Eignung der Anwendung in der Praxis. Insgesamt sechs Evaluationskriterien werden für die Methodik (in Anlehnung an Jonas 2000; Bernhard et al. 2007; Döring, Bortz 2016; Wulfsberg et al. 2005; Meier 2003) festgelegt:

Die **Durchgängigkeit** bezieht sich auf die kohärente und nahtlose Anwendbarkeit der Methodik. Die Bewertung der Durchgängigkeit kann potenzielle Lücken oder Inkonsistenzen in der methodischen Vorgehensweise aufdecken. Eine hohe Durchgängigkeit kann die Effizienz steigern, den Informationsfluss erleichtern und die Gesamtergebnisse verbessern.

Das Evaluationskriterium **Transparenz und Nachvollziehbarkeit** bezieht sich auf die Klarheit, Offenheit und Verständlichkeit der betrachteten Methodik. Die Bewertung der Transparenz und Nachvollziehbarkeit kann die Vertrauenswürdigkeit und Glaubwürdigkeit der Methodik erhöhen. Gut dokumentierte und transparente Ergebnisse ermöglichen ein einfaches Überprüfen der Methodik durch eine klare Rückverfolgbarkeit der Ergebnisse.

Die **Vollständigkeit** bezieht sich auf den Grad, in dem alle relevanten Aspekte, Komponenten, Informationen oder Merkmale in der Methodik berücksichtigt werden. Die Bewertung der Vollständigkeit stellt sicher, dass das Ergebnis robust und belastbar ist. Eine umfassende Berücksichtigung aller relevanten Faktoren erhöht die Zuverlässigkeit und Relevanz der Methodik.

Die **Richtigkeit** bezieht sich auf die Korrektheit der Ergebnisse, die zum einen durch den Auswahlprozess entstehen, aber auch in den Auswahlprozess einbezogen werden. Die dargestellten Daten, Informationen und Schlussfolgerungen werden überprüft, ob sie tatsächlich der Realität entsprechen und die Methodik somit zuverlässig ist.

Die **Nützlichkeit** bezieht sich auf die praktische Relevanz und den Mehrwert der Methodik. Somit lässt sich prüfen, ob die betrachtete Methodik tatsächlich ein bestimmtes Problem lösen bzw. eine bestimmte Aufgabe effektiv erfüllen kann. Die Bewertung der Nützlichkeit stellt sicher, dass die entwickelte Methodik nicht nur theoretisch relevant ist, sondern ihre Ergebnisse auch in der Praxis anwendbar und hilfreich sind.

Das Evaluationskriterium **Flexibilität und Erweiterbarkeit** bezieht sich auf die Fähigkeit der Methodik, sich an verschiedene Anforderungen anzupassen und zukünftige Entwicklungen zu berücksichtigen. Dadurch wird sichergestellt, dass die entwickelte Methodik nicht nur für aktuelle Anforderungen geeignet ist, sondern auch für zukünftige Entwicklungen und Anpassungen offen ist. Somit wird gewährleistet, dass die Methodik auch über einen längeren Zeitraum hinweg relevant und nützlich bleibt.

Insgesamt vier Evaluationskriterien werden für die Anwendung festgelegt (in Anlehnung an Döring, Bortz 2016; Stengel 2006; Bernhard et al. 2007):

Der **Zeitaufwand** bezieht sich auf die zeitliche Ressource, die für die Nutzung der Anwendung benötigt wird, um eine geeignete Technologieauswahl vorzunehmen. Der Zeitaufwand spielt eine wichtige Rolle bei Entscheidungsprozessen. Ein geringerer Zeitaufwand kann zu einer schnelleren Umsetzung und einem effizienteren Betrieb führen.

Die **Zufriedenheit** bezieht sich auf die Einschätzung der Anwenderinnen und Anwender während der Nutzung und somit auf ihre subjektive Wahrnehmung hinsichtlich der Bedienfreundlichkeit und Effektivität der Methodik. Zufriedene Anwenderinnen und Anwender sind eher geneigt, die Anwendung weiterhin zu einzusetzen und positiv zu bewerten, während Unzufriedenheit zu einer geringeren Akzeptanz und Nutzung führen kann.

Die **Praktikabilität** bezieht sich auf die praktische Anwendbarkeit und Umsetzbarkeit der Anwendung und beurteilt, inwieweit die Anwendung in der Praxis effektiv eingesetzt werden kann. Eine praktikable Anwendung ist in der Lage, die beabsichtigten Ziele effektiv zu erreichen und den Anforderungen der Praxis gerecht zu werden.

Das Evaluationskriterium **Qualität der Ergebnisse** bewertet, wie gut die Ausgaben der Anwendung den tatsächlichen Anforderungen und Erwartungen entsprechen und wie verlässlich sie für die Entscheidungsfindung sind. Hochwertige Ergebnisse bieten eine solide Grundlage für fundierte Entscheidungen, Analysen und Erkenntnisse.

Für die Bewertung der insgesamt zehn Evaluationskriterien steht eine Bewertungsskala mit vier Ausprägungen zur Verfügung: hoch, mittel und gering. Außerdem kann auch keine Angabe gemacht werden. Der Evaluationsbogen (siehe Anhang L – Teil 1) wird mit den PA-Mitgliedern im Anschluss der Ergebnisvorstellung gemeinsam ausgefüllt und diskutiert. Somit konnten Anmerkungen direkt protokolliert und schriftlich festgehalten werden. Die Evaluationsergebnisse sind in Abbildung 4-28 einzusehen.

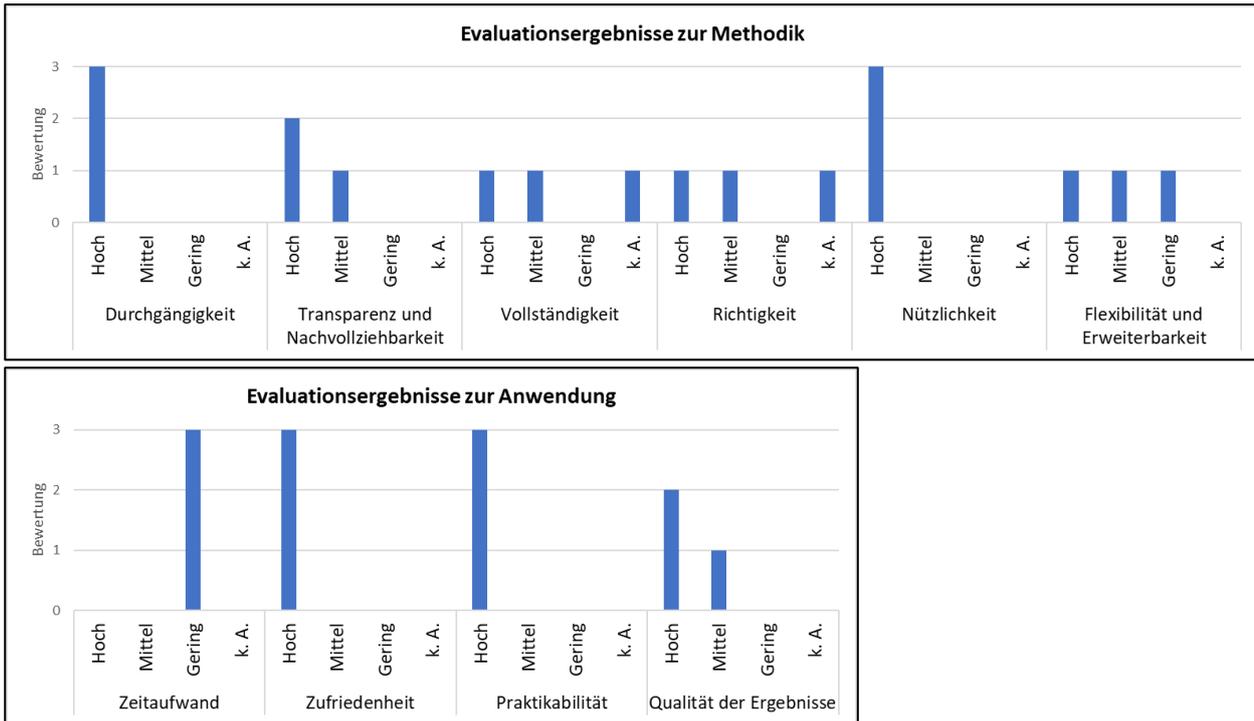


Abbildung 4-28: Evaluationsergebnisse zur Methodik und zur Anwendung für die Technologieauswahl

„Durchgängigkeit“ und „Nützlichkeit“ der **Methodik** werden ausnahmslos mit „hoch“ bewertet. Das Kriterium „Transparenz und Nachvollziehbarkeit“ wird überwiegend mit „hoch“ bewertet, da die Technologiematrix sehr umfangreich ist. „Vollständigkeit“ und „Richtigkeit“ werden zu gleichen Teilen mit „hoch“ und „mittel“ bewertet; jedoch hat bei beiden Kriterien eine Person keine Angabe gemacht. Die Auswahl ist darauf zurückzuführen, dass die Vollständigkeit des Technologie- und Kriterienkatalogs und die Richtigkeit der Technologiebewertung von den PA-Mitgliedern nicht einzeln geprüft werden konnte. Das Kriterium „Flexibilität und Erweiterbarkeit“ wird zu gleichen Teilen mit „hoch“, „mittel“ und „gering“ bewertet, da die Methodik zwar sehr flexibel, der Aufwand für die Erweiterung jedoch besonders hoch sei.

Der „Zeitaufwand“ für die **Anwendung** der Methodik wird mit „gering“ bewertet. Gleichzeitig werden die „Zufriedenheit“ und die „Praktikabilität“ ausnahmslos mit „hoch“ bewertet“. Die „Qualität der Ergebnisse“ kann in Teilen verbessert werden, wird aber überwiegend mit „hoch“ bewertet. Vor allem die gute Bewertung der Anwendung spricht für eine praktikable Einsatzfähigkeit der Methodik im Unternehmen bei gleichzeitig niedrigschwelliger Einstiegshürde.

Empfehlungen zur Verbesserung der Methodik werden direkt in die Methodik eingefügt. Ein Beispiel hierfür ist die Bereitstellung des Technologiekatalogs, um eine schnelle Einarbeitung in die vorgeschlagenen Technologien zu ermöglichen. Des Weiteren können Ergebnisse und Anforderungen kombiniert und als Profil gespeichert werden. Wenn eine Technologiekette gemäß der Methodik implementiert wird, kann diese nun als „Technologieschablone“ gekennzeichnet werden, falls sie als praktikabel erachtet und ihre Einsatzfähigkeit in einem Praxistest überprüft

wurde. Dies bedeutet, dass nach der praktischen Umsetzung der Technologiekette das Anforderungsprofil weiterhin zur Verfügung steht und eingesehen werden kann. Das Profil kann somit per Checkbox als „Technologieschablone“ für den spezifischen Anwendungsfall markiert werden.

Teil 2: Semantisches Modell als Ontologie

Die Evaluation des ontologiebasierten semantischen Modells zielt darauf ab, Erfahrungen der PA-Mitglieder in die Implementierungsphase einfließen zu lassen. Dafür werden insgesamt sieben Evaluationskriterien ausgewählt (Gomez-Perez 2004; Grüninger, Fox 1995):

Die **Vollständigkeit** bezieht sich auf das Ausmaß, in dem die Ontologie in der Lage ist, alle relevanten Klassen, Eigenschaften, Beziehungen und Instanzen der abgebildeten Domäne korrekt und umfassend zu repräsentieren. Eine vollständige Ontologie sollte sämtliche bedeutenden Aspekte der realen Welt abdecken, die innerhalb ihres Anwendungsbereichs von Interesse sind.

Die **Verständlichkeit** bezieht sich auf die Klarheit, die Struktur und die Lesbarkeit der semantischen Beschreibung und achtet darauf, wie leicht die Ontologie von verschiedenen Zielgruppen verstanden werden kann. Eine verständliche Ontologie erleichtert die Interaktion, Nutzung und Kommunikation.

Die **Genauigkeit** bezieht sich auf die Richtigkeit der in der Ontologie enthaltenen Informationen und Beziehungen im Vergleich zur realen Domäne, die sie abbilden soll. Sie beurteilt, inwieweit die Ontologie reale Tatsachen, Zusammenhänge und Eigenschaften korrekt wiedergibt.

Die **Plausibilität** bezieht sich auf die innere Kohärenz und die stimmige Darstellung der in der Ontologie enthaltenen Klassen, Beziehungen und Axiome. Sie beurteilt, ob die Struktur und die Aussagen der Ontologie intuitiv verständlich und logisch nachvollziehbar sind. Die Plausibilität ist ein wesentlicher Faktor, um sicherzustellen, dass die Ontologie in sich schlüssig ist und eine realistische Abbildung der betrachteten Domäne bietet.

Das Evaluationskriterium **Flexibilität und Erweiterbarkeit** bezieht sich auf die Fähigkeit der Ontologie, sich an Veränderungen und neue Anforderungen anzupassen sowie die Integration zusätzlicher Konzepte und Informationen zu ermöglichen, ohne dabei die grundlegende Struktur oder Funktionalität zu beeinträchtigen. Dieses Kriterium berücksichtigt die Dynamik von Wissen und Anforderungen in der betrachteten Domäne.

Das Evaluationskriterium **Transparenz und Nachvollziehbarkeit** bezieht sich auf die Klarheit und Dokumentation der Struktur, der Modellierungsentscheidungen und der zugrundeliegenden Semantik der Ontologie. Dieses Kriterium stellt sicher, dass die Ontologie für andere Zielgruppen verständlich ist und dass die zugrunde liegenden Annahmen und Regeln leicht nachvollzogen werden können.

Die **Nützlichkeit** bezieht sich auf den praktischen Wert und den Beitrag der Ontologie zur Lösung von spezifischen Problemen oder zur Unterstützung von Anwendungen in einem bestimmten Anwendungsbereich. Somit wird bewertet, inwieweit die Ontologie tatsächlich einen Mehrwert und Nutzen bietet.

Für die Bewertung der insgesamt sieben Evaluationskriterien steht eine Bewertungsskala mit vier Ausprägungen zur Verfügung: hoch, mittel und gering. Darüber hinaus kann auch keine Angabe gemacht werden. Der Evaluationsbogen (siehe Anhang L – Teil 2) wird mit den PA-Mitgliedern im Anschluss der Ergebnisvorstellung gemeinsam ausgefüllt und diskutiert. Die Evaluationsergebnisse sind in Abbildung 4-29 einzusehen.

„Genauigkeit“, „Plausibilität“ sowie „Flexibilität und Erweiterbarkeit“ der Ontologie werden ausnahmslos mit „hoch“ bewertet. Die „Verständlichkeit“ und „Nützlichkeit“ wird zu gleichen Teilen mit „hoch“ und „mittel“ bewertet, da die Ontologie zum einen sehr komplex ist und der Einstieg in die Thematik große Hürden darstellt. Das Kriterium „Transparenz und Nachvollziehbarkeit“ wird zu gleichen Teilen „hoch“ und „gering“ bewertet, da die Ontologie zwar sehr flexibel, der Aufwand für die Erweiterung jedoch besonders hoch sei.

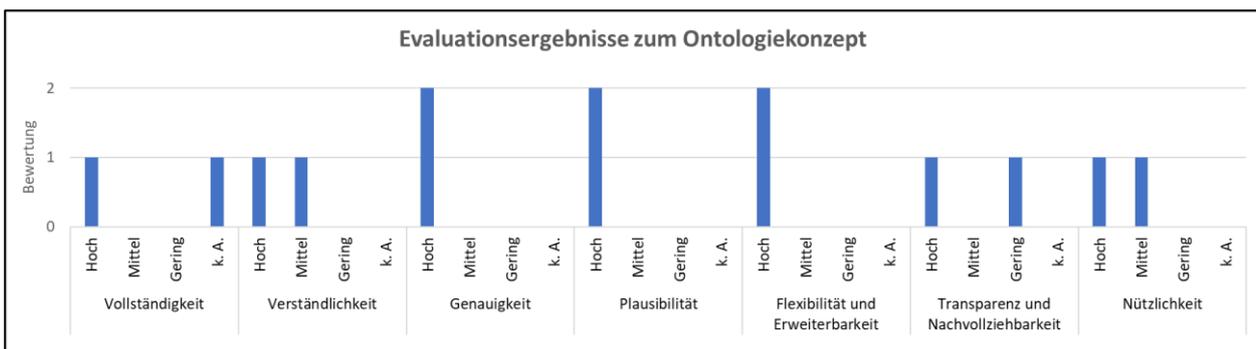


Abbildung 4-29: Evaluationsergebnisse zum Ontologiekonzept

Die Evaluation des Ontologiekonzeptes hat ergeben, dass aus Sicht der PA-Mitglieder keine Änderungen an der Struktur vorgenommen werden müssen. Allerdings wird auf die Hürden hingewiesen, die sich im Zuge einer Integration in die IT-Landschaft ergeben. Dazu gehört zum einen die Beherrschung der Komplexität des Modells, das ein umfangreiches Domänenwissen mit zahlreichen Beziehungen abbildet, und zum anderen die technologische Integrität, die technologische Heterogenität und Interoperabilitätsprobleme mit sich bringen kann, da eine bestehende IT-Landschaft aus verschiedenen Technologien, Plattformen und Datenquellen besteht. Eine Integration kann Veränderungen in den bestehenden IT-Prozessen erfordern, sodass die Planung und Durchführung eines effektiven Änderungsmanagements notwendig werden. Die Implementierung und Wartung eines semantischen Modells erfordert spezifisches Fachwissen, sodass Personal zu qualifizieren oder neues Personal mit einer entsprechenden Fachexpertise einzustellen ist, um eine ordnungsgemäße Implementierung und Wartung des Modells sicherzustellen.

4.2.9 Anforderungsanalyse, funktionales und technisches Lastenheft

Mit den beiden Evaluationen aus Abschnitt 4.2.8 (Evaluation der Methodik sowie des semantischen Modells) sind die Vorarbeiten, die zur Erstellung des semantischen Modells notwendig sind, abgeschlossen. In diesem Abschnitt werden die Anforderungen an eine Demonstrationsplattform beschrieben, denen sich in den nachfolgenden Abschnitten die Erstellung der Demonstrationsplattform (siehe Abschnitt 4.2.10 bis 4.2.13) sowie die Evaluation der Projektergebnisse (siehe Abschnitt 4.2.14) anschließt.

Die Formulierung von Anforderungen an die zu implementierende Demonstrationsplattform gemeinsam mit den Mitgliedern des PA folgt dem Requirements Engineering von Rupp (2014) und mündet in einem Anforderungskatalog mit User Stories. User Stories bieten eine Möglichkeit, Anforderungen aus der Perspektive der Benutzer zu formulieren und zu kommunizieren. Im Wesentlichen sind User Stories kurze, prägnante Beschreibungen von Funktionen oder Aufgaben aus der Sicht eines Benutzers. Die Anforderungen sind nach Rupp (2014) in funktionale und nicht-funktionale Anforderungen kategorisiert:

Funktionale Anforderungen beschreiben, welche Funktionen oder Aufgaben das System ausführen soll. Sie sind spezifisch, konkret und definieren, welche Aktionen das System durchführen muss; sie beziehen sich hier auf den Funktionsumfang der Demonstrationsplattform. Zu den funktionalen Anforderungen zählen bspw. die Login-Funktion, die Bereitstellung fallbezogener/profilbezogener Eingabemasken, Speicherfunktionen, die Fähigkeit, Technologieketten auszugeben und Daten in die Demonstrationsplattform einzuspeisen. Insgesamt werden 40 funktionale Anforderungen formuliert.

Nicht funktionale Anforderungen beschreiben Attribute des Systems. Sie legen fest, wie gut das System seine Funktionen ausführen soll. Somit betreffen diese oft die Leistung, Zuverlässigkeit, Sicherheit, Benutzerfreundlichkeit und Skalierbarkeit des Systems. Hier beziehen sich die nicht-funktionalen Anforderungen auf die Umgebung, die Prozesse und die Eigenschaften der Demonstrationsplattform und umfassen bspw. die Möglichkeit des Mehrfachzugriffs auf den Fuseski-Server, auf dem die Ontologie bereitgestellt wird. Insgesamt werden vier nicht-funktionale Anforderungen formuliert.

Die Anforderungen werden als MUSS, SOLL und KANN-Funktionalitäten gewichtet. Die Priorisierung erfolgt entsprechend der geforderten Funktionalitäten der zu entwickelnden Demonstrationsplattform. Somit besteht eine formulierte Anforderung immer aus folgenden Bestandteilen (siehe Abbildung 4-30): dem betrachteten System (blau; hier der Demonstrationsplattform), einer gewichteten Funktionalität (rot; muss, kann oder soll), einer Aktion (grün; die Möglichkeit bieten, fähig sein), dem angesprochenen Objekt (lila; hier ein Objekt der Demonstrationsplattform) sowie dem Prozesswort (hellblau; bezieht sich auf das angesprochene Objekt).

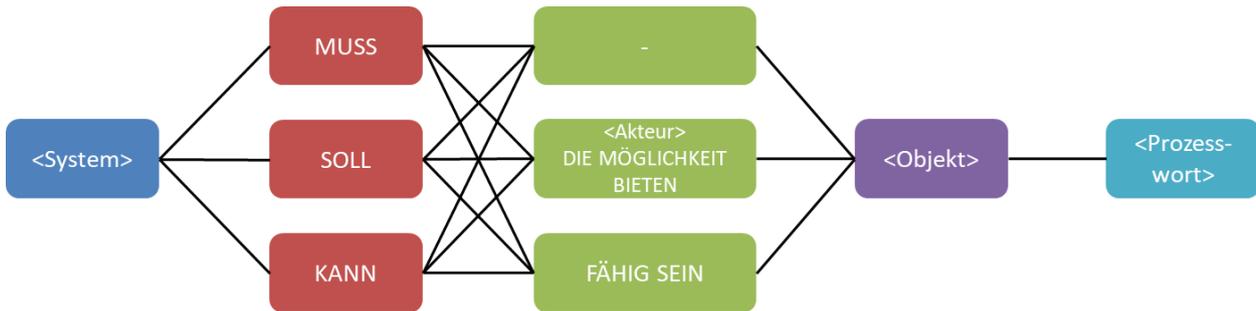


Abbildung 4-30: Systematik zur Erstellung Anforderungen nach Rupp (2014)

Alle Anforderungen werden in User Stories überführt. In der nachfolgenden Tabelle 4-6 sind exemplarisch zwei Anforderungen und die daraus abgeleiteten User Stories aufgeführt. Für die User Story Nr. 15 wird zunächst eine Anforderung formuliert: „Die Demonstrationsplattform muss die Möglichkeit bieten, das bereitgestellte Anforderungsprofil auszufüllen“. Aus dieser Anforderung ergibt sich anschließend folgende User Story: „Als Anwenderin oder Anwender möchte ich ein bereitgestelltes Anforderungsprofil ausfüllen können, um meine Anforderungen zu formulieren“. Analog verhält es sich zur User Story Nr. 35. Aus der formulierten Anforderung „Die Demonstrationsplattform muss fähig sein, die Arbeitszeiten eines Mitarbeitenden anzuzeigen“ wird folgende User Story abgeleitet: „Als Anwenderin oder Anwender möchte ich Arbeitszeiten meines Mitarbeitenden angezeigt bekommen, um meine Stunden auf ein Projekt zu buchen“. Eine Gesamtübersicht der User Stories ist in Anhang M einzusehen

Tabelle 4-6: User-Stories (Auszug)

Nr.	Anforderung	User Story
15	Die Demonstrationsplattform muss die Möglichkeit bieten, das bereitgestellte Anforderungsprofil auszufüllen.	Als Anwenderin oder Anwender möchte ich ein bereitgestelltes Anforderungsprofil ausfüllen können, um meine Anforderungen zu formulieren.
35	Die Demonstrationsplattform muss fähig sein, die Arbeitszeiten eines Mitarbeitenden anzuzeigen.	Als Anwenderin oder Anwender möchte ich Arbeitszeiten meines Mitarbeitenden angezeigt bekommen, um meine Stunden auf ein Projekt zu buchen.

Die Definition von Anforderungen in Form von User-Stories dient dazu, die funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen an die Demonstrationsplattform stets nach dem gleichen Schema zu formulieren, sodass auch Nicht-IT-Expertinnen und -Experten die Anforderungen nachvollziehen können. Zu den definierten Anforderungen lassen sich im Einzelnen folgende methodische Ergänzungen ableiten:

- Verbesserung der Planung logistischer Prozesse auf Basis von ermittelten Technologieketten
- Verbesserung der Planung logistischer Prozesse auf Basis von Auswertungen erfasster Projektdaten und deren Visualisierung

- Systematische Ablage von Daten in einer Ontologie zur Wiederverwendung und kontinuierlichen Verbesserung der Planungsqualität im Projektmanagement

Spezifische Anforderungen, die beteiligte Unternehmen des PA äußern, ergänzen die obigen Anforderungen:

- Unterstützung einer disziplinübergreifenden Zusammenarbeit, Schaffung von Transparenz und Verantwortlichkeiten
- Einbindung von Projektdaten aus vorangegangenen Projekten
- Erweiterbarkeit der zu entwickelnden Demonstrationsplattform für nicht-logistische Prozesse.

Die Anforderungen finden im Entwicklungsprozess der Demonstrationsplattform Anwendung.

4.2.10 Implementierung einer Demonstrationsplattform

Um die Funktionalitäten (bspw. einer Methodik oder eines Modells) in einer praktischen Anwendung aufzuzeigen, wird eine Demonstrationsplattform entwickelt. Auf Basis des entwickelten Systembildes der Demonstrationsplattform existiert ein Software-Artefakt, das alle Funktionalitäten des Anforderungskatalogs prototypisch realisiert.

Die Architektur der Demonstrationsplattform fußt auf der Struktur-, Daten- und Anwendungsebene (siehe Abbildung 4-31) und wird nachfolgend beschrieben. Alle drei Ebenen stehen in Verbindung zueinander und werden von außen mit Daten, Metadaten und Informationen angereichert.

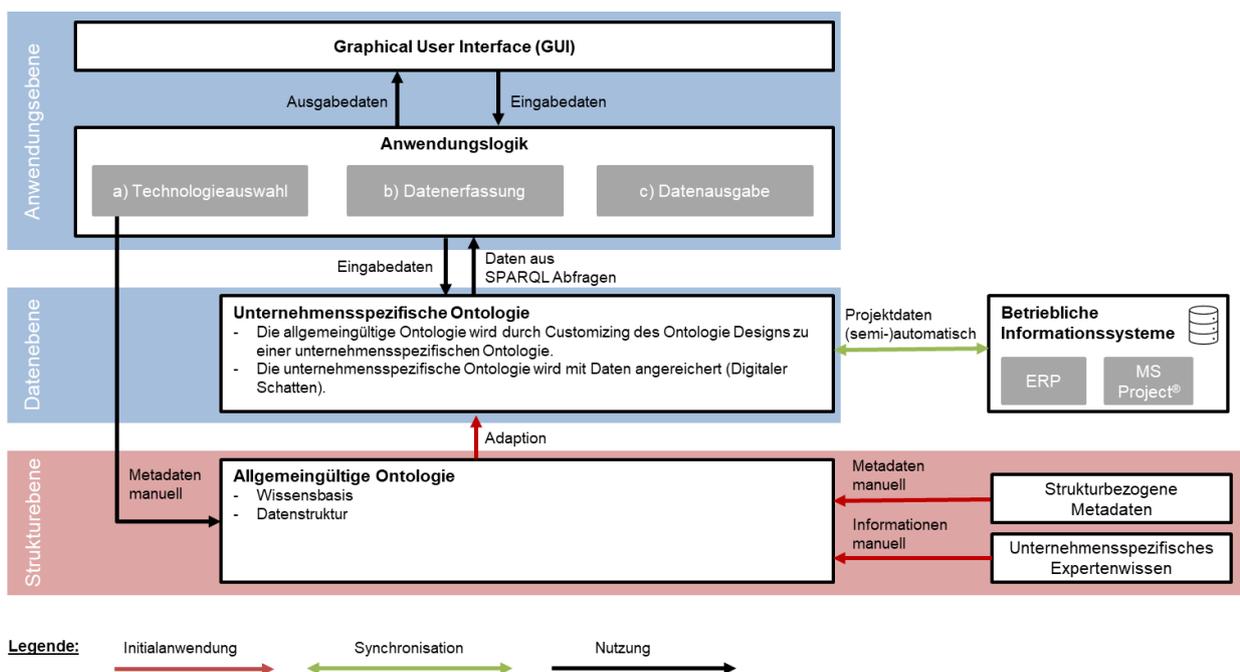


Abbildung 4-31: Architektur der Demonstrationsplattform

Strukturebene: Die Strukturebene umfasst die für die Anwendung der Demonstrationsplattform notwendige Datenstruktur. Den Kern der Strukturebene bildet die allgemeingültige Ontologie, die als Wissensbasis dient. Das semantische Modell in Form dieser Ontologie setzt sich zusammen aus strukturbezogenen Metadaten und unternehmensspezifischem Expertenwissen. Die manuelle Anreicherung der allgemeingültigen Ontologie um strukturbezogene Metadaten (z. B. Prozesse, Technologien, Arbeits(hilfs-)mittel) ist ein **initial** auszuführender Prozess. Während der späteren Anwendung im Unternehmen ist dieser lediglich zu prüfen. Eine hinreichende Allgemeingültigkeit der Ontologie kann aufgrund der Diskussion und Evaluation im PA angenommen werden (siehe Abschnitt 4.2.8); eine manuelle Erweiterung des semantischen Modells mit unternehmensspezifischem Expertenwissen ist möglich.

Datenebene: Hauptbestandteil der Datenebene ist die unternehmensspezifisch adaptierte Ontologie. Der Adaptionprozess folgt einem im Rahmen dieses Forschungsprojektes entwickelten Vorgehensmodells (siehe Abschnitt 4.2.12) und wird als Customizing-Prozess bezeichnet. Erst die Anreicherung der allgemeingültigen Ontologie mit unternehmenseigenen Daten führt zu einer unternehmensspezifischen Ontologie. Dabei werden die (Projekt-)Daten (semi-)automatisch aus den betrieblichen Informationssystemen (z. B. ERP-System oder Microsoft Project®) in die Ontologie überführt und Daten, die mit Hilfe der Ontologie erzeugt werden (z. B. mit Hilfe von Datenerfassungstechnologien erfasst und in der Ontologie gespeichert oder durch Berechnungen in der Ontologie erzeugte Ergebnisdaten), stets synchron gehalten.

Anwendungsebene: Mit Hilfe der Anwendungsebene wird die Möglichkeit gegeben, über ein Graphical User Interface (GUI) Daten aus betrieblichen Informationssystemen einzulesen, auszugeben und auf die Ontologie zuzugreifen. Via SPARQL-Query werden Daten aus der Ontologie abgefragt und in der GUI angezeigt. Diese Daten werden als Ausgabedaten bezeichnet. Werden Daten über die GUI erfasst, wird von Eingabedaten gesprochen. Diese können via SPARQL-Updates in die Ontologie geschrieben werden. Nachfolgend wird je ein Beispiel vorgestellt:

Beispiel 1: SPARQL-Query

```
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX dataject: <http://www.semanticweb.org/gliem/ontologies/2022/9/untitled-ontology-9#>
```

```
select DISTINCT ?restr
where
{ dataject:K05_A04_hoch_91_bis_95 a ?cls .
  ?cls rdfs:subClassOf* [ owl:someValuesFrom ?restr ] .
}
```

Mittels der aufgeführten SPARQL-Query (Beispiel 1) wird ermittelt, welche der Technologien, die in der Ontologie angelegt sind, eine hohe Verfügbarkeit aufweisen. Konkret bedeutet die Anweisung: Gib die Technologien aus, bei denen das Kriterium K05 („Verfügbarkeit“) in der Ausprägung A04 (hoch; 91-95 %) vorliegt. Als Ergebnis liefert die Abfrage genau die 23 Technologien, bei denen das Kriterium *Verfügbarkeit* mit „hoch; 91-95 %“ angegeben ist. Der Auszug aus der Ergebnisliste sieht wie folgt aus:

```

“restr” ,
“http://www.semanticweb.org/gliem/ontologies/2022/9/untitled-ontology-9#ET001_Pos_Scanner” ,
“http://www.semanticweb.org/gliem/ontologies/2022/9/untitled-ontology-9#ET002_Laserscanner” ,
“http://www.semanticweb.org/gliem/ontologies/2022/9/untitled-ontology-9#ET003_Barcodelesestift” ,
“http://www.semanticweb.org/gliem/ontologies/2022/9/untitled-ontology-9#ET010_GPS_Sensor_indoor” ,
“http://www.semanticweb.org/gliem/ontologies/2022/9/untitled-ontology-9#IT017_Passive_Transponder” ,
“http://www.semanticweb.org/gliem/ontologies/2022/9/untitled-ontology-9#IT018_Aktive_Transponder” ,
“http://www.semanticweb.org/gliem/ontologies/2022/9/untitled-ontology-9#UeT001_WLAN” ,
“http://www.semanticweb.org/gliem/ontologies/2022/9/untitled-ontology-9#UeT002_Bluetooth” ,
[...]
```

Beispiel 2: SPARQL-Update

```

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX dataject: <http://www.semanticweb.org/gliem/ontologies/2022/9/untitled-ontology-9#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
```

INSERT DATA

```

{ dataject:” & TextBox1.Text & “ rdfs:subClassOf dataject:T_IT_Identifikationstechnologien;
rdf:type owl:class }
```

Die dargestellte SPARQL-Update-Funktion zeigt, wie neue Technologien in der Anwendung angelegt und deren Namen in der Ontologie gespeichert werden. Konkret bedeutet das: Der Name der neu angelegten Technologie wird in die Ontologie geschrieben und als Unterklasse der Klasse IT_Identifikationstechnologie angelegt.

Die Ontologie wird direkt an die Demonstrationsplattform angebunden. Hierbei handelt es sich prinzipiell um eine lokale Insellösung, da keine weiteren Nutzerinnen oder Nutzer auf die Wissensbasis zugreifen können. Alle verwalten und warten ihre eigene Ontologie. 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 Apache Jena Fuseki-Servers ermöglicht einen solchen Dienst (Fuseki 2023; siehe Abschnitt 4.2.7). Zum Testen wird die Ontologie lokal auf dem Fuseki-Server über die Verbindung zu localhost:3030 hochgeladen. In der Fuseki-Umgebung werden SPARQL-Abfragen vorab getestet. Die Demonstrationsplattform nutzt diesen Dienst, um Abfragen an die Ontologie zu senden. Die Demonstrationsplattform erhält entsprechend der gesendeten Anfrage eine XML-basierte Ausgabe, die der Fuseki-Server weitergibt. Der Zugriff der Demonstrationsplattform (Dataject Anwendung) auf die Wissensbasis ist in Abbildung 4-32 dargestellt.

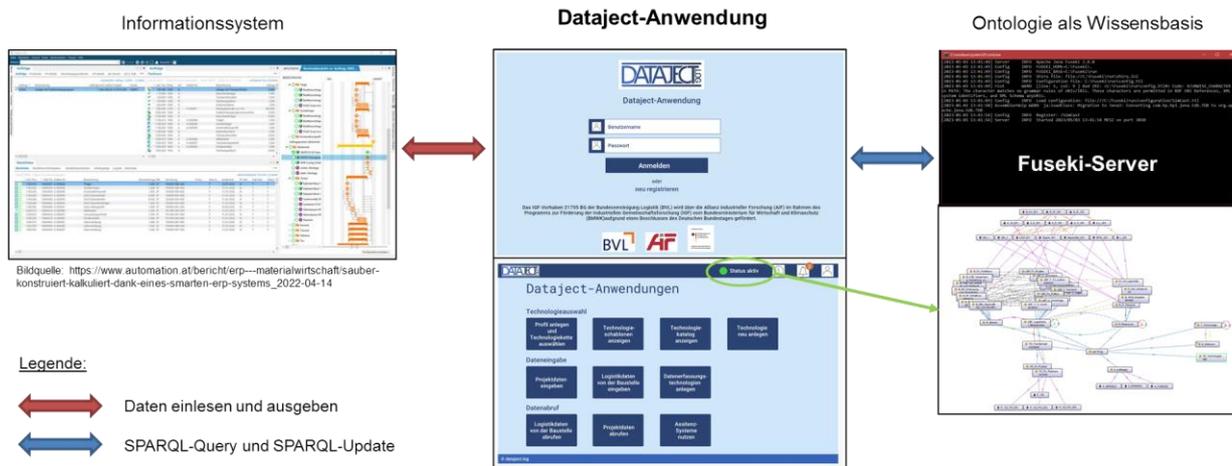


Abbildung 4-32: Zugriff auf die Wissensbasis

Den zentralen Aspekt der Anwendungsebene stellt die Anwendungslogik dar. Sie bildet den Funktionsumfang der Demonstrationsplattform und umfasst folgende Funktionsbereiche:

- Technologieauswahl
- Datenerfassung
- Datenausgabe

Funktionsbereich a) wird lediglich dem Projektmanager über einen **rollenspezifischen Login** bereitgestellt. Die Funktionsbereiche b) und c) werden sowohl dem Projektmanager als auch dem Monteur auf der Baustelle rollenspezifisch zugänglich gemacht.

a) Technologieauswahl

Der erste Funktionsbereich dient der Auswahl einer geeigneten, Use Case-spezifischen Technologie. Über die GUI wird in Funktionsbereich **a.I)** das leere Anforderungsprofil (siehe Abschnitt 4.2.6) bereitgestellt. Die Anwendung der beschriebenen Verrechnungsregeln als Teil des Anforderungsprofils führt zur Ausgabe technisch möglicher Technologieketten (inkl. derer Steckbriefe). Über die Speicherfunktion werden die eingegebenen Suchparameter und die Ergebnisse für künftige Anwendungen abgespeichert. Der Nutzer hat außerdem die Möglichkeit, eine Bewertung der Eignung der Technologieketten vorzunehmen – diese wird ebenfalls abgespeichert. Alle gespeicherten Daten werden in Form einer Technologieschablone für die Wieder- und Weiterverwendung bereitgestellt. Neben der Einsicht in die (bewerteten) Technologieschablonen hat der Nutzer in Funktionsbereich **a.II)** die Möglichkeit, Einsicht in den Technologiekatalog (siehe Abschnitt 4.2.4) zu nehmen. Der Funktionsbereich **a.III)** ermöglicht eine Erweiterung der Wissensbasis durch das hinzufügen neuer Datenidentifikations-, Datenerfassungs- und Datenübertragungstechnologien. Die neu hinzugefügten Technologien werden via SPARQL-Update in die Ontologie geladen.

b) Datenerfassung

Im Funktionsbereich b) werden diverse Möglichkeiten der Datenerfassung bereitgestellt. Im Bereich **b.I)** bietet die Demonstrationsplattform dem Nutzer die Möglichkeit, Projektdaten aus betrieblichen Informationssystemen wie ERP-Systemen oder Microsoft Project® in die Ontologie zu laden. Der Import erfolgt zweistufig – zunächst werden die Daten in einer Vorschau angezeigt und erst durch die Bestätigung der angezeigten Daten und deren Struktur werden diese in die Ontologie überführt. Dieser Prozess wird im Rahmen des Projektes manuell ausgeführt. Ebenfalls manuell erfolgt die Eingabe von Daten, die bspw. auf der Baustelle durch den Anwender erfasst werden (Funktionsbereich **b.II)**). Dafür wird dem Anwender (z.B. Monteur auf der Baustelle) eine Use Case-bezogene Ansichtsmaske bereitgestellt. Im Rahmen des Projektes wird eine solche Ansichtsmaske für den Use Case „Arbeitszeiterfassung auf der Baustelle“ bereitgestellt (siehe Abschnitt 4.2.11). Die manuell erfassten Daten werden via SPARQL-Update in der Ontologie als Data Properties gespeichert. Neben der manuellen Datenerfassung stellt vor allem die (teil-)automatische Datenerfassung einen großen Anwendungsbereich dar. Um eine (teil-)automatische Datenerfassung zu ermöglichen ist im Funktionsbereich **b.III)** die Technologie in der Ontologie auszuwählen, die die Daten (teil-)automatisch erfassen soll. Es wird jetzt nicht mehr die Klasse einer Technologie (bspw. outdoor GPS-Sensor) zur Datenerfassung betrachtet, sondern das konkrete Individual in der Klasse, der outdoor GPS-Sensor „GPS_0001“. Die Demonstrationsplattform ermöglicht das Konfigurieren der Erfassungsfrequenz. Diese kann manuell oder automatisch sowie ereignis- oder zeitgesteuert erfolgen. Für die Datenerfassung wird im Rahmen des Projektes ebenfalls eine Ansichtsmaske für einen Use Case bereitgestellt. Der Use Case ermöglicht das Tracking von Arbeits(hilfs-)mitteln auf der Baustelle (siehe Abschnitt 4.2.11). (Teil-)automatisch erfasste Daten werden ebenfalls via SPARQL-Updates als Data Properties in der Ontologie gespeichert. Zum Funktionsumfang **b.III)** gehört außerdem die Ausgabe einer Übersicht bereits angelegter Technologien.

c) Datenausgabe

Funktionsbereich c) ermöglicht die rollenspezifische Datenausgabe. Im Bereich c.I) werden dem Projektmanager die in Bereich b.I) hochgeladenen Projektdaten ausgegeben. Außerdem erhält er einfache Datenaufbereitungen und -visualisierungen dieser Projektdaten. Auf die Umsetzung methodisch anspruchsvoller Analyse- und Visualisierungsverfahren als Bestandteil der Demonstrationsplattform wurde bewusst verzichtet und die Anbindung von Assistenzwerkzeugen in Absprache mit den Mitgliedern des PA realisiert. Im Funktionsbereich c.II) bekommt der Monteur ebenfalls rollenspezifische Datenaufbereitungen und -visualisierungen angezeigt. Die Nutzung von Assistenzwerkzeugen bleibt ihm verwehrt – er besitzt ausschließlich Lesefunktion.

In Vorbereitung der Programmierung der Demonstrationsplattform in Microsoft Visual Studio® wird ein Sequenzdiagramm erstellt, das die Interaktionen der für die Anwendung der Demonstrationsplattform erforderlichen Zielgruppen graphisch beschreibt und die Rollen des Projektmanagements und des Personals auf der Baustelle berücksichtigt. Microsoft Excel® (.xlsx) als einfaches betriebliches Informationssystem, die Ontologie (.owl) auf dem Fuseki-Server als Informationsmodell, die Demonstrationsplattform (.exe) als ausführbare Dataject-Anwendung und die Hardware auf der Baustelle (.exe) interagieren mit den Rollen und sind im sequenziellen Ablauf für die Umsetzung der Demonstrationsplattform dargestellt (Auszug siehe Abbildung 4-33; vollständige Sequenzdiagramme siehe Anhang N).

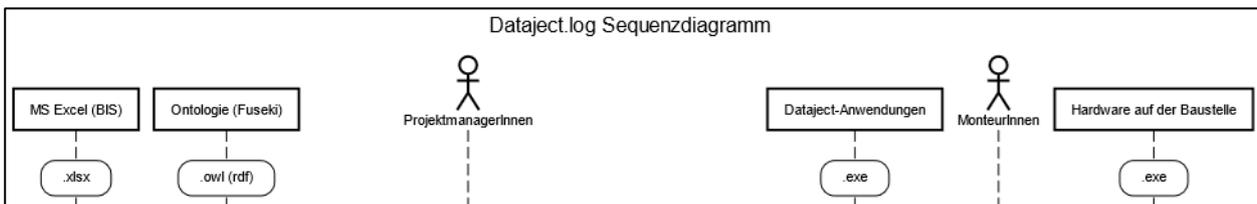


Abbildung 4-33: Rollen im Sequenzdiagramm (Auszug)

Basierend auf dem Sequenzdiagramm wird ein Mockup der Demonstrationsplattform in Adobe xd® erstellt, um den Funktionsumfang und das Rechte- und Rollenprinzip vor der Implementierung zu testen. Abbildung 4-34 zeigt den Login-Bereich (links) und die Startseite der Dataject-Anwendung (rechts) mit allen Funktionsangeboten; Screenshots des gesamten Mockups sind in Anhang O einzusehen. Eine Funktionsfähigkeit des vollständigen Datenflusses kann aufgrund der Charakteristik eines Mockups nicht überprüft werden. Dies erfolgte erst bei der Implementierung der Demonstrationsplattform.

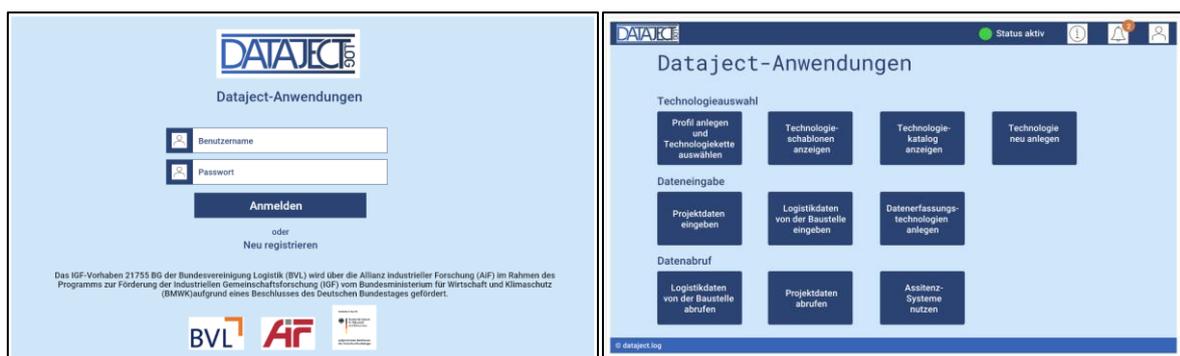


Abbildung 4-34: Login-Bereich der Dataject-Anwendung (links); Startseite der Dataject-Anwendung (rechts)

Als Ergebnis der Implementierung liegt eine in Visual Studio® mit VBA programmierte Demonstrationsplattform mit drei Funktionsbereichen vor (dataject.exe), die ermöglicht, geeignete Sensorik zur Datenerfassung, -identifikation und -übertragung zu identifizieren, mit Hilfe dieser Sensoren Daten zu erfassen, ein- und auszulesen und Daten zu analysieren und zu visualisieren.

4.2.11 Beschreibung eines Nutzungskonzeptes und des Datenmanagements

Für die Nutzung der Demonstrationsplattform als Digitaler Schatten der Baustelle im Unternehmen sind verschiedene **Rollen** notwendig, die im Gesamtsystem unterschiedliche Verantwortungen tragen. Eine Übersicht der Rollen und der zugehörigen Tätigkeiten sind in Abbildung 4-35 in Form eines Use Case Diagramms abgebildet.

Auf der linken Seite des Diagramms befinden sich die Rollen, die im Unternehmen im direkten Kontakt mit betrieblichen Informationssystemen oder Projektmanagementsystemen, wie z. B. Microsoft Projekt®, und der Datenerfassung und -verarbeitung stehen. Dazu gehören der **Projektmanager**, der **Monteur** und der Microsoft Office® Administrator (für die Rollen der Demonstrationsplattform wird das generische Maskulinum verwendet, das alle Geschlechter einschließt). Der **Projektmanager** erstellt die Projektpläne, liest und aktualisiert die Projektfortschrittsdaten und legt die Technologien zur Datenidentifikation, -erfassung und -übertragung an. Der **Monteur** erfasst den Baufortschritt und die Logistikdaten der Baustelle. Dazu zählt bspw. die Dokumentation seiner Arbeitszeiten. Außerdem darf er spezifische Projektdaten aktualisieren und in die Ontologie schreiben. Der **Administrator** installiert und aktualisiert die Microsoft Office® Suite und informiert insbesondere den Projektmanager über neue Release.

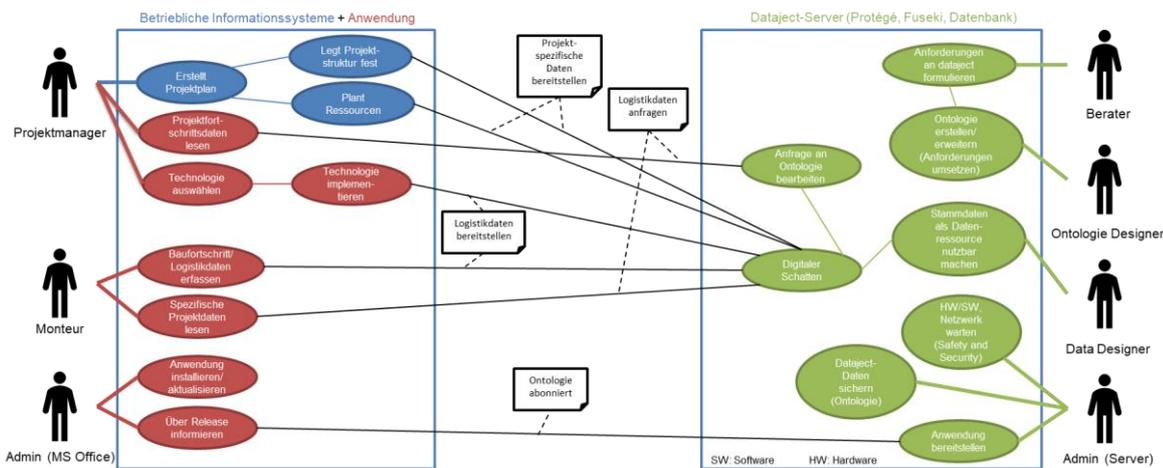


Abbildung 4-35: Use Case Diagramm zur Nutzung des semantischen Modells

Auf der rechten Seite befinden sich die Rollen, die im direkten Kontakt mit einem Dataject-Server stehen, um die Anwendung im Unternehmen zur Verfügung zu stellen. Die zur Ausführung des semantischen Modells notwendigen unterstützenden Komponenten (Fuseki-Server, Protégé® und Datenbanken betrieblicher Informationssysteme) können lokal, im Intranet oder im Internet auf einem Dataject-Server abgespeichert und ausgeführt werden. Die verarbeiteten Daten werden optional mit Hilfe der Dataject-Anwendung vom Server an betriebliche Informationssysteme wie bspw. Microsoft Project® übertragen und dort ausgegeben.

Zunächst werden Anforderungen seitens des Unternehmens an den Digitalen Schatten der Logistikprozesse auf der Baustelle formuliert. 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 Interviews heraus formuliert, setzt der **Ontologie-Designer** um, indem er die allgemeingültige Ontologie in eine unternehmensspezifische Form überführt. Darüber hinaus besteht die Aufgabe des Ontologie-Designers in der Konfektionierung der Ontologie für den Kunden, damit dieser stets mit der aktuellen Version arbeitet. Die historische (Stamm-)Datenbasis wird vom **Data-Designer** als Datenressource für die Projektplanung im Unternehmen nutzbar gemacht und steht dann für die Abfragen zur Verfügung. Für den Dataject-Server gibt es ebenfalls einen **Administrator**, der dem Kunden Hard- und Software bereitstellt und das Netzwerk wartet, um eine sichere Nutzung des Dienstes zu gewährleisten. Er sichert die Dataject-Daten für die Ontologie und stellt die dafür benötigten Anwendungen bereit.

Das **Datenmanagement** unterscheidet sich hinsichtlich der Funktionsbereiche (a.I) bis c.II)) und der Rollen Projektmanager und Monteur (siehe Abbildung 4-36; Projektmanager = blaue Kreuze, Monteur = rote Kreuze).

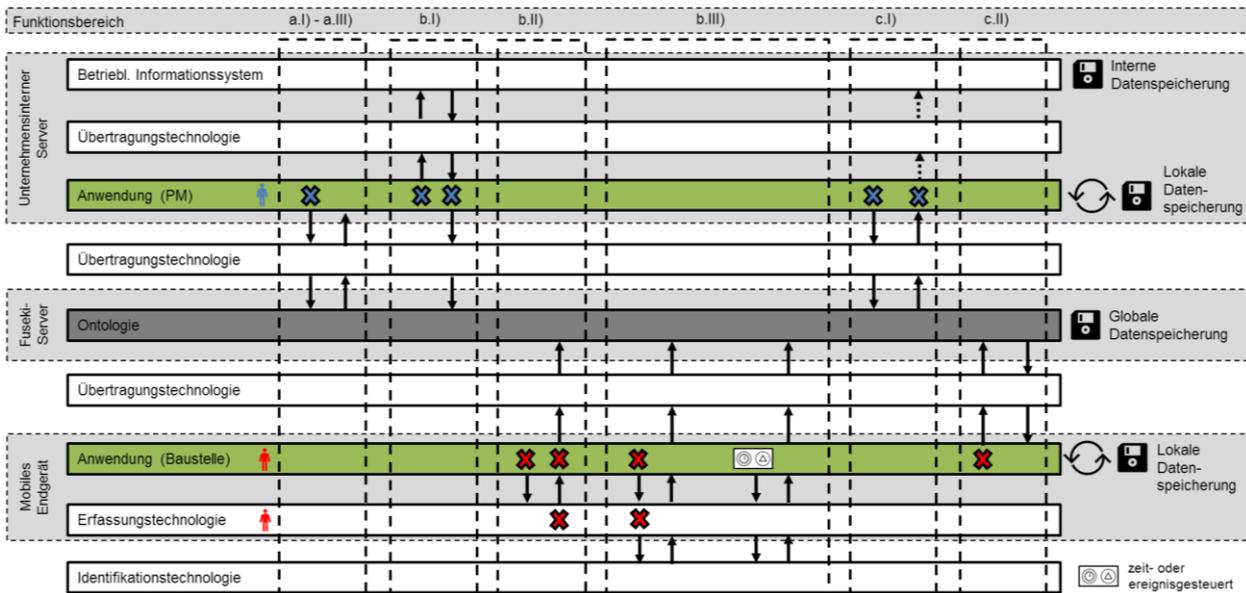


Abbildung 4-36: Übersicht Datenfluss nach Funktionsbereichen

Funktionsbereiche a.I) – a.III) zur Technologieauswahl

Für die Funktionsbereiche a.I – a.III) der Demonstrationsplattform startet der Projektmanager die Dataject-Anwendung zur Technologieauswahl, die auf einem unternehmensinternen Server liegt. In der GUI der Dataject-Anwendung stellt der Projektmanager Anfragen (SPARQL-Queries) an die Ontologie. Sowohl die Anfragen als auch die Antworten werden via Übertragungstechnologie übermittelt. Die Antworten werden dem Projektmanager in der GUI angezeigt.

Funktionsbereich b.I) zur Dateneingabe (Projektdate)

Für das Hochladen von Projektdate durch den Projektmanager in Funktionsbereich b.I) startet der Projektmanager zunächst die Dataject-Anwendung. Mit Hilfe von Übertragungstechnologien greift er auf Daten des betrieblichen Informationssystems zu, ruft diese ab und bekommt die Daten in der Dataject-Anwendung angezeigt. Der Projektmanager prüft diese Daten manuell und gibt sie für die Übertragung frei. Mittels Übertragungstechnologien und SPARQL-Updates werden die Daten in die Ontologie übertragen.

Funktionsbereich b.II) zur manuellen Dateneingabe (Baustelle)

Im Funktionsbereich b.II), der manuellen Eingabe von Logistikdaten auf der Baustelle, startet der Monteur die Anwendung auf der Baustelle auf einem mobilen Endgerät. Der Monteur erfasst manuell die Daten in der mobilen Anwendung und bekommt diese zur Kontrolle angezeigt. Er prüft die Daten und gibt sie frei. Anschließend erfolgt die Datenübertragung mit Hilfe einer Übertragungstechnologie in die Ontologie. Die formale Übertragung erfolgt via SPARQL-Updates.

Funktionsbereich b.III) zur (teil-)automatischen Dateneingabe (Baustelle)

Fall a) Bei der **teilautomatischen Datenerfassung** startet der Monteur die mobile Anwendung und erfasst automatisch mit Hilfe einer Identifikationstechnologie und der dazu passenden Erfassungstechnologie Daten. Die manuelle Erfassung kann wahlweise zeit- oder ereignisgesteuert erfolgen. Die erfassten Daten werden ihm in der mobilen Anwendung angezeigt. Er prüft die Daten und gibt sie frei. Anschließend erfolgt die Datenübertragung mit Hilfe einer Übertragungstechnologie in die Ontologie. Die formale Übertragung erfolgt via SPARQL-Updates.

Fall b) Bei der **automatischen Datenerfassung** werden die Daten mit Hilfe einer Erfassungstechnologie zeit- oder ereignisgesteuert automatisch erfasst und mittels Datenübertragungstechnologie in die Ontologie geschrieben. Die formale Übertragung erfolgt via SPARQL-Updates.

Funktionsbereich c.I) zur Datenausgabe (Projektmanagement)

Damit dem Projektmanager Daten ausgegeben werden können, startet der Projektmanager die Dataject-Anwendung und sendet via Übertragungstechnologie SPARQL-Queries an die Ontologie. Auf demselben Übertragungsweg erhält er das Ergebnis bzw. die Daten der Abfrage zurück. Die Daten werden in der Dataject-Anwendung angezeigt. Optional besteht die Möglichkeit, die Daten in betrieblichen Informationssystemen via Datenübertragungstechnologien zu übertragen und zu speichern. Der Projektmanager besitzt lediglich eine Lesefunktion – eine Bearbeitung der Daten ist nicht möglich.

Funktionsbereich c.II) zur Datenausgabe (Baustelle)

Sollen auf der Baustelle Daten ausgegeben werden, wird die mobile Anwendung auf einem Endgerät gestartet und via Übertragungstechnologie eine Anfrage (SPARQL-Query) an die Ontologie

gestellt. Auf demselben Übertragungsweg werden das Ergebnis bzw. die Daten der Abfrage zurückgegeben und können auf der Baustelle eingesehen, aber nicht bearbeitet werden.

4.2.12 Beschreibung der Vorgehensmodelle

Mit Hilfe einer Methodik wird eine Herangehensweise geschaffen, um die verschiedenen Funktionsbereiche aus Abschnitt 4.2.11 nutzen zu können. Die hier betrachtete Methodik besteht aus spezifischen Vorgehensmodellen, die allgemein eine Abfolge von Phasen (bestehend aus Aktivitäten und Ergebnissen) systematisch beschreiben. Die einzelnen Phasen sind auszuführen, um ein Ziel zu erreichen (Versteegen 2002). Aufeinanderfolgende Phasen können in der Regel iterativ wiederholt werden; Rücksprünge können über mehrere Phasen hinweg erfolgen.

Bei den hier entwickelten Vorgehensmodellen wird unterschieden zwischen Modellen zur Adaption und zur Nutzung der Dataject-Anwendung. Um die allgemeingültige Ontologie unternehmensspezifisch anwenden zu können, wird das Vorgehensmodell zur Adaption genutzt. Zusätzlich werden fünf Vorgehensmodelle entworfen, die eine Nutzung der Demonstrationsplattform ermöglichen.

1. Vorgehensmodell zur Adaption der Ontologie

Bei dem Vorgehensmodell zur Adaption der allgemeingültigen Ontologie hin zur unternehmensspezifischen Ontologie handelt es sich um ein fünfphasiges Modell (siehe Abbildung 4-37). Die Phasen werden im Wesentlichen chronologisch durchlaufen; Rückschritte in vorherige und frühere Phasen sind möglich.

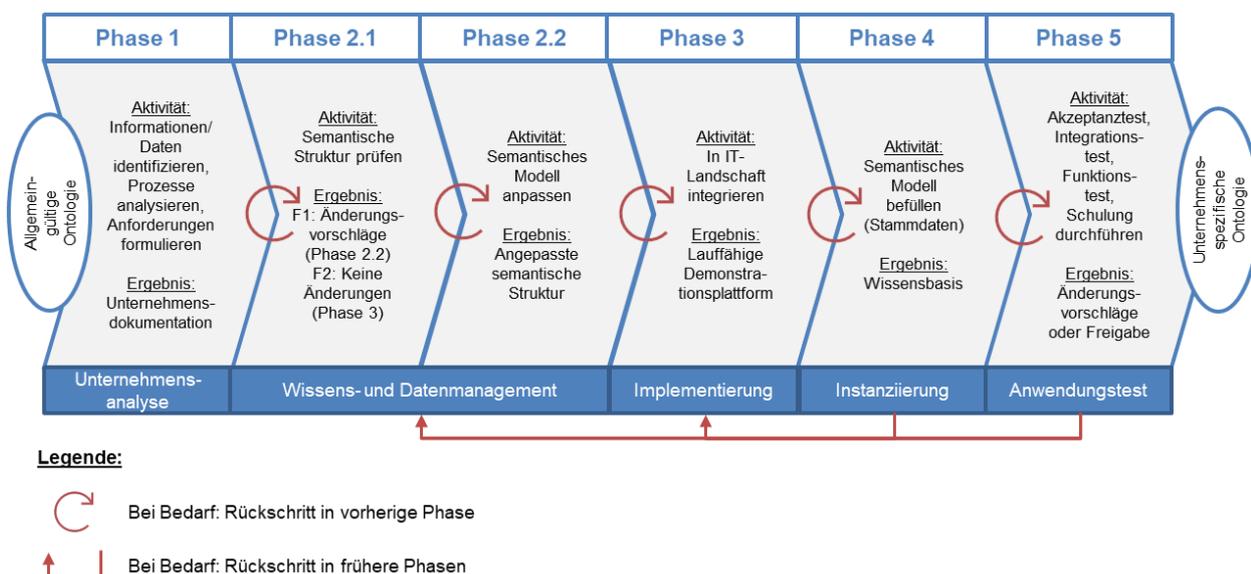


Abbildung 4-37: Vorgehensmodell zur Adaption der allgemeingültigen Ontologie an unternehmensspezifische Bedarfe

Beginnend mit der **Phase 1** „Unternehmensanalyse“ werden im Unternehmen relevante Informationen und Daten identifiziert, (Logistik-)Prozesse des Unternehmens analysiert und gemeinsam

mit den Verantwortlichen im Unternehmen Anforderungen an die Ontologie formuliert. Diese Aktivitäten werden dokumentiert und in Form einer Unternehmensdokumentation bereitgestellt. Dem schließt sich die **Phase 2** „Wissens- und Datenmanagement“ an. Hierbei wird die vorliegende semantische Struktur auf ihre Eignung für das Unternehmen geprüft (**Phase 2.1**). Werden Änderungsvorschläge erteilt, ist das semantische Modell entsprechend anzupassen (**Phase 2.2**). Ist die semantische Struktur korrekt, kann die Ontologie und die Anwendung dataject.exe in die IT-Landschaft des Unternehmens integriert werden. Diese **Phase (3)** stellt die Implementierung dar. Treten unerwartet Fehler bei der Implementierung auf, kann dies an der semantischen Struktur liegen, dann ist diese anzupassen. Dieser Schritt kann mehrmals wiederholt werden. Liegt schließlich eine lauffähige Demonstrationsplattform vor, wird das semantische Modell in Phase 4 instanziiert und mit (Stamm-)Daten gefüllt. Im Ergebnis dieser Phase liegt eine Wissensbasis vor. Aus **Phase 4** sind Rückschritte in die Phasen 2 und 3 möglich, wenn während der Nutzung bspw. festgestellt wird, dass Daten nicht korrekt in die Ontologie geschrieben werden. Ursache dafür können Fehler in der semantischen Struktur (2.1) oder im Datenfluss (3) sein. Ist die Instanziierung erfolgt, folgen Akzeptanz-, Integrations- und Funktionstests der Demonstrationsplattform inkl. der angebundnen Ontologie. Zudem sollte eine Schulung zur Anwendung der Demonstrationsplattform erfolgen. Gibt es Änderungsvorschläge in **Phase 5** („Anwendungstest“), können diese zurück bis in die Phasen 2, 3 und 4 reichen. Bei voller Fehlerfreiheit der Ontologie und der Demonstrationsplattform erfolgt deren Freigabe mit anschließender Nutzung im Unternehmen.

2. Vorgehensmodell bei der Nutzung – Funktionsbereich a.) Technologieauswahl

Auch die Technologieauswahl (**a.I**) folgt einem fünfphasigen Vorgehensmodell (siehe Abbildung 4-38). Die Phasen werden im Wesentlichen wieder chronologisch durchlaufen; Rückschritte in vorherige und frühere Phasen sind möglich.

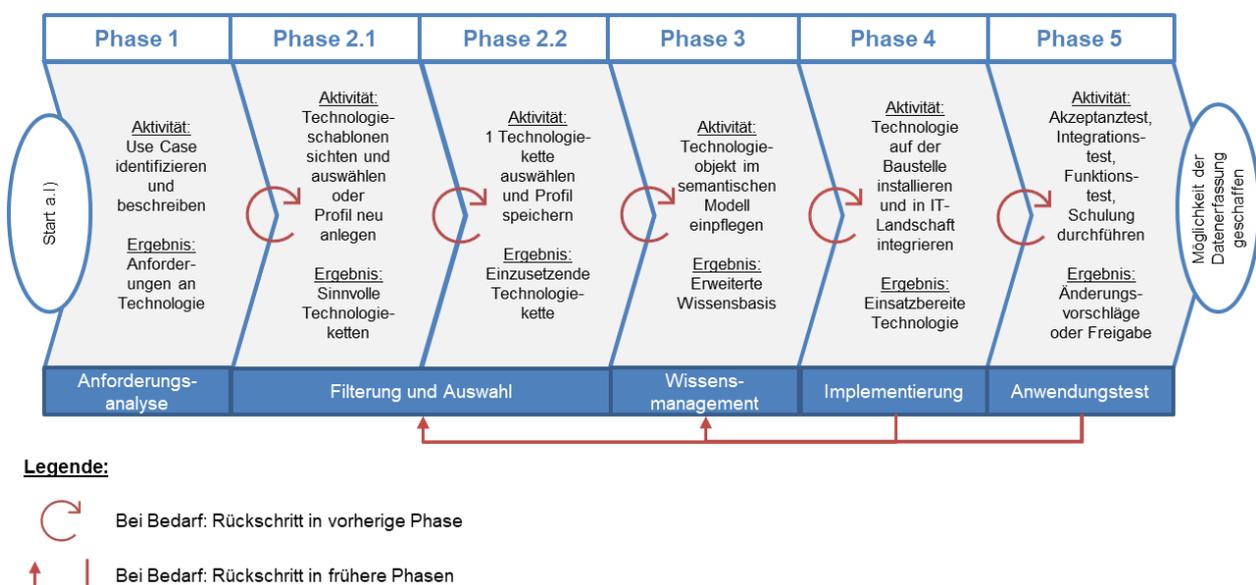


Abbildung 4-38: Vorgehensmodell Funktionsbereich a) Technologieauswahl

Beginnend mit der Anforderungsanalyse in **Phase 1** wird gemeinsam mit dem Projektmanagement ein Use Case identifiziert und beschrieben, für den eine geeignete Technologie identifiziert werden soll. Als Ergebnis liegt ein Anforderungskatalog vor. **Phase 2** stellt den eigentlichen Filter- und Auswahlprozess dar. Hier werden die angelegten Technologieschablonen gesichtet, eine ausgewählt oder ein neues Profil angelegt und die Anforderungen in dieses Profil eingetragen. Der Filterprozess liefert den Anforderungen entsprechend sinnvolle Technologieketten (**Phase 2.1**). Anschließend wird eine Technologiekette manuell ausgewählt und das Profil abgespeichert – diese Kette bildet das Ergebnis von **Phase 2.2**. Identifikations-, Erfassungs- und Übertragungstechnologie als Bestandteil dieser Kette sind in **Phase 3** in das semantische Modell einzupflegen. Treten Herausforderungen bei der Integration in das semantische Modell auf, muss die einzusetzende Technologiekette überprüft und ggf. angepasst werden. Das Ergebnis der dritten Phase ist eine um eine Kette erweiterte Wissensbasis. In der Implementierungsphase (**Phase 4**) erfolgt die Installation der Technologien auf der Baustelle und deren Integration in die bestehende IT-Landschaft des Unternehmens. Die Technologien sind nun einsatzbereit. Gibt es Änderungsvorschläge in **Phase 5** („Anwendungstest“), reichen diese zurück bis in die Phasen 2, 3 und 4. Bei voller Fehlerfreiheit der Ontologie und der Demonstrationsplattform erfolgt deren Freigabe. Durch die Anwendung dieses Vorgehensmodells wird eine Möglichkeit der Datenerfassung geschaffen.

3. Vorgehensmodell bei der Nutzung – Funktionsbereich b.I) Dateneingabe (Projektmanagement)

Die Eingabe von Projektdaten (Funktionsbereich **b.I**) in die Ontologie durch das Projektmanagement folgt einem dreiphasigen Vorgehensmodell und beschreibt das systematische Vorgehen beim Hochladen von Projektdaten (siehe Abbildung 4-39).

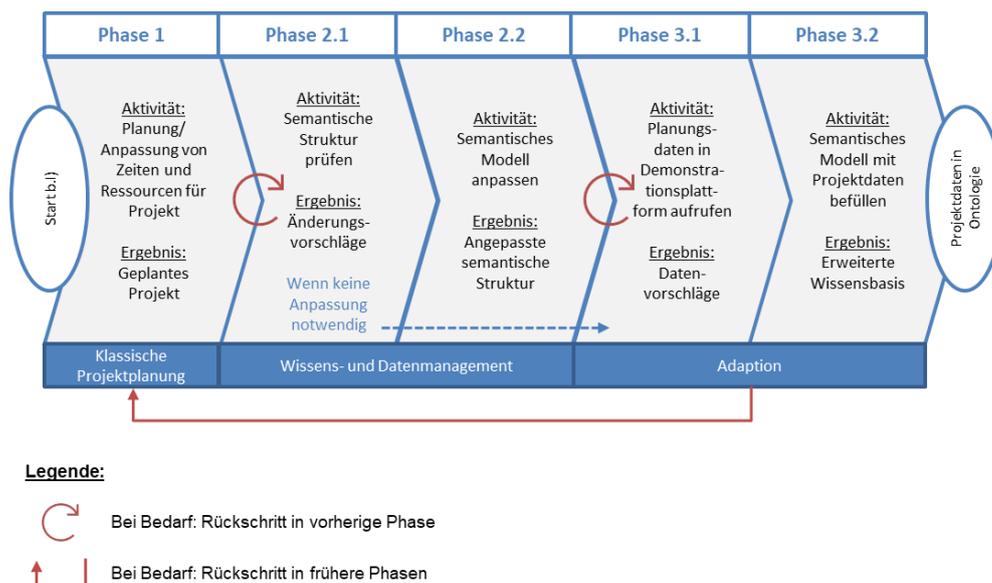


Abbildung 4-39: Vorgehensmodell Funktionsbereich b.I) Dateneingabe (Projektmanagement)

Dem klassischen Projektmanagement folgend werden in **Phase 1** die zu planenden Projekte eingesehen. Dazu werden mit einem Projektmanagementwerkzeug wie bspw. Microsoft Project® neue Vorgänge geplant bzw. vorliegende Vorgänge (der Fokus liegt auf Zeiten und Ressourcen im Projekt; Abhängigkeiten/Beziehungen werden vernachlässigt) angepasst. Mit Ende der ersten Phase liegen alle benötigten Projektinformationen digital vor. Im Datenmanagement (**Phase 2**) wird die vorliegende semantische Struktur auf ihre Eignung überprüft; ggf. werden Änderungen vorgeschlagen. Diese führen in Phase 2.2 zur Anpassung des vorliegenden semantischen Modells. Wenn keine strukturellen Anpassungen des Modells notwendig sind, folgt ein zweistufiger Adaptionprozess der Daten. Hierzu werden Planungsdaten in der Demonstrationsplattform aufgerufen und dem Projektmanagement als Vorschlag unterbreitet. Liegen Fehler bei der Anzeige vor, erfolgt ein Rückschritt in die vorherige Phase verbunden mit der (erneuten) Anpassung des semantischen Modells. Liegt das semantische Modell in korrekter Form vor, wird es in Phase 3.2 mit Projektdaten befüllt. Das Ergebnis ist eine erweiterte Wissensbasis. Mit dem Ende von Phase 3 liegen nun Projektdaten zur Weiterverwendung in der Ontologie vor.

4. Vorgehensmodell bei der Nutzung – Funktionsbereich b.II) Dateneingabe (Baustelle)

Ein weiteres Vorgehensmodell umfasst die manuelle Eingabe von Logistikdaten durch das Personal auf der Baustelle (Funktionsbereich **b.II**), siehe Abbildung 4-40).

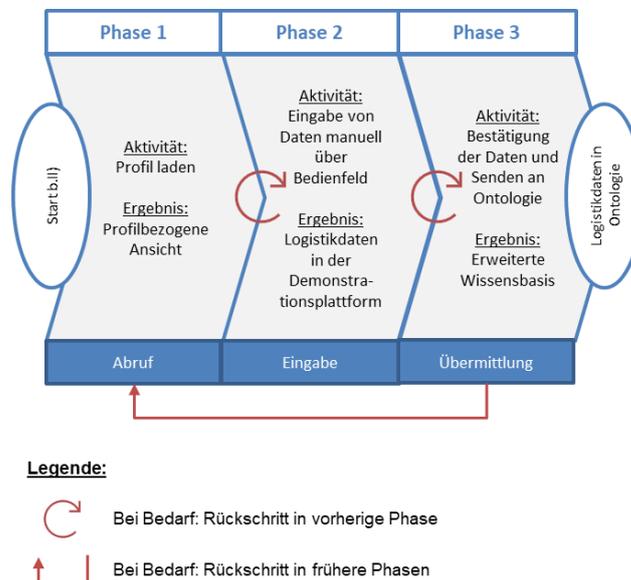


Abbildung 4-40: Vorgehensmodell Funktionsbereich b.II) Dateneingabe (Baustelle)

Das dreiphasige Vorgehensmodell beginnt mit dem Abruf des eigenen Profils nach erfolgreichem Login. In dieser **Phase (1, Abruf)** wird die profilbezogene Ansicht geladen. In der Ansichtsmaske werden in der **zweiten Phase** über ein Bedienfeld manuell Logistikdaten, wie bspw. Arbeitszeiten, eingegeben. Als Ergebnis der zweiten Phase liegen diese Logistikdaten in der Demonstrationsplattform vor. Sollte es zu Fehlern bei der Eingabe kommen, kann die

profilbezogene Ansicht erneut geladen werden und die Eingabe beginnt von vorn. Durch Bestätigen der Eingaben erfolgt die Übermittlung der Daten an die Ontologie (**Phase 3**). Sollten nachträglich Änderungen oder Korrekturen vorgenommen werden müssen, können diese durch das Personal auf der Baustelle selbst erfolgen. Das Ende der Phase 3 führt zu einer Erweiterung der Wissensbasis.

5. Vorgehensmodell bei der Nutzung – Funktionsbereich b.III) Dateneingabe (Projektmanagement)

Die (teil-)automatische Erfassung von Logistikdaten in die Ontologie im Funktionsbereichs **b.III)** folgt einem dreiphasigen Vorgehensmodell (siehe Abbildung 4-41). Zunächst wird wahlweise, basierend auf den Ergebnissen von a.I), der Anwendung des Anforderungsprofils oder basierend auf Erfahrungen des Projektmanagements, eine konkrete Technologie in der Ontologie als Individual angelegt und mit einem Bezugsobjekt verknüpft. Nach dem Anlegen der Verknüpfung erfolgt die Konfiguration der Technologie.

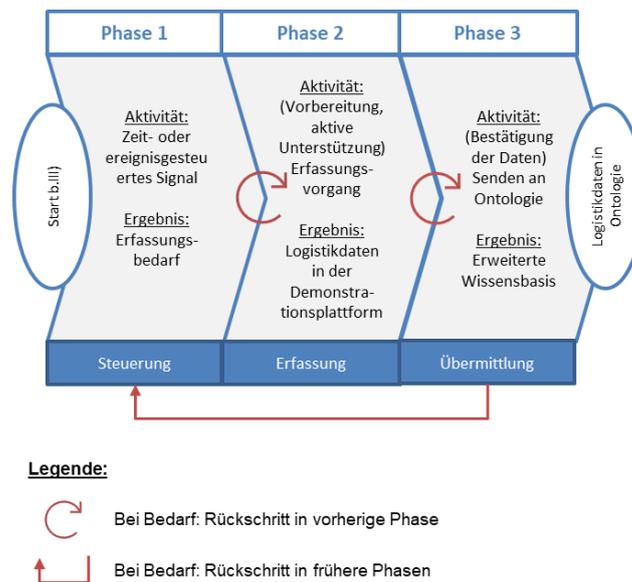


Abbildung 4-41: Vorgehensmodell Funktionsbereich b.III) Dateneingabe (Projektmanagement)

In **Phase 1**, der Steuerungsphase, definiert das Projektmanagement die Erfassungsfrequenz der Daten. Dabei wird zwischen manueller oder automatisch gesteuerter sowie zeit- oder ereignisgesteuerter Erfassungsfrequenz unterschieden. Im Ergebnis wird ein auf den Use Case angepasster Erfassungsbedarf formuliert. Die Erfassung der Daten erfolgt in **Phase 2**. Erfasste Daten werden direkt in die Demonstrationsplattform übertragen und dort zwischengespeichert. Werden nicht die gewünschten Daten oder fehlerhafte Daten in die Demonstrationsplattform gespeichert, erfolgt ein Rückschritt in Phase 1, gefolgt von einer Anpassung der Erfassungsstrategie. Sind die Daten korrekt, erfolgt in **Phase 3** eine manuelle Bestätigung der Daten, gefolgt von einer Übermittlung der Daten in die Ontologie. Ein Rückschritt von Phase 3 in Phase 2 kann notwendig sein, wenn die Daten nicht korrekt in der Ontologie gespeichert werden. Ebenso kann ein Rückschritt

von Phase 3 in Phase 1 erfolgen, wenn bspw. die Erfassungsfrequenz zu hoch ist und zu einem zu hohen manuellen Bestätigungsaufwand führt. Das Ende der Phase 3 führt zu einer Erweiterung der Wissensbasis – die erfassten Logistikdaten liegen nun in der Ontologie zur Weiterverwendung vor.

6. Vorgehensmodell bei der Nutzung – Funktionsbereich c.I) Datenausgabe (Projektmanagement) und Funktionsbereich c.II) Datenausgabe (Baustelle)

Um Logistikdaten in der Demonstrationsplattform für das Projektmanagement oder auf der Baustelle auszugeben, wird ein dreiphasiges Vorgehensmodell als Basismodell entwickelt (siehe Abbildung 4-42). Dieses Basismodell wird ausschließlich für das Projektmanagement um die Phasen 4 und 5 erweitert. Die Erweiterung ermöglicht dem Projektmanagement Datenanalysen und -visualisierungen in Phase 4 sowie die Überführung der ausgegebenen Logistikdaten und Analyseergebnisse in betriebliche Informationssysteme des Unternehmens.

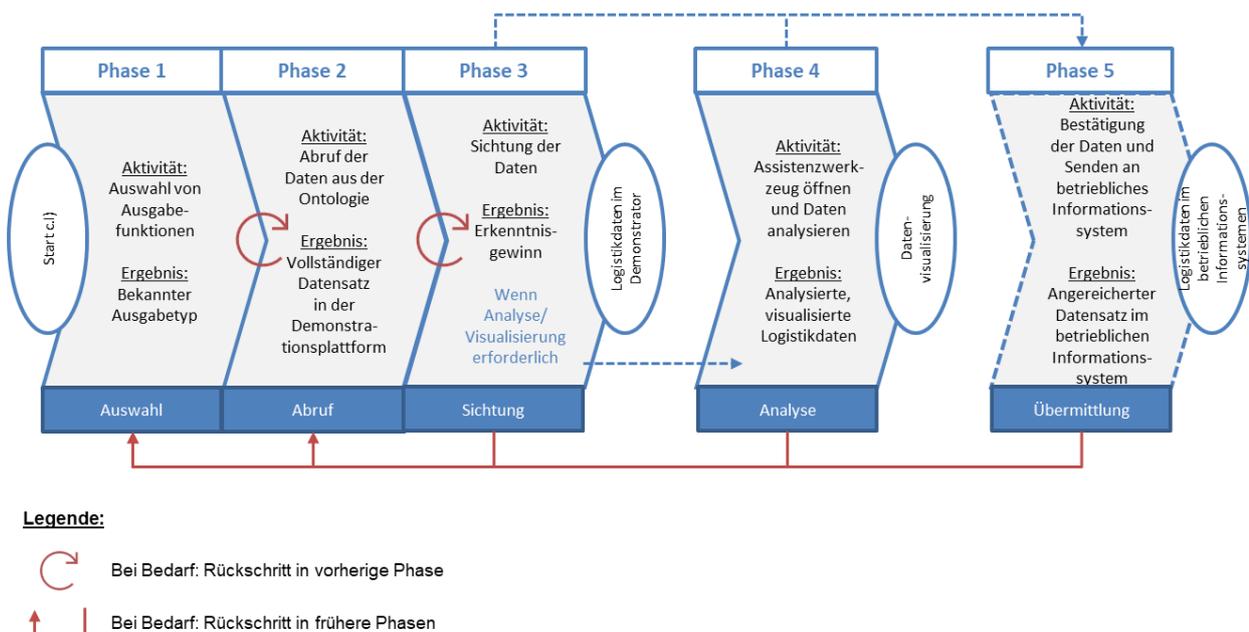


Abbildung 4-42: Vorgehensmodell Funktionsbereich c.I) Datenausgabe (Baustelle und Projektmanagement)

In der **ersten Phase** werden die auszugebenden Daten manuell ausgewählt. Hierzu folgt ein Abruf der Daten aus der Ontologie via SPARQL-Queries (**Phase 2**). Als Ergebnis dieser Phase wird der abgerufene Datensatz in der Demonstrationsplattform angezeigt. Entspricht dieser nicht den Erwartungen, erfolgt ein Rückschritt in Phase 1 gepaart mit einer Anpassung der Auswahl der Daten. In der **dritten Phase** werden die abgerufenen Daten gesichtet und interpretiert. Bei Bedarf kann die Anfrage geändert und wiederholt werden.

Ein erweiterter Erkenntnisgewinn wird durch die Analyse und die Visualisierung der Ergebnisse erzielt. Für Analysen oder Visualisierungen stehen dem Projektmanagement in **Phase 4** deshalb Assistenzwerkzeuge zur Verfügung, die aus der Demonstrationsplattform genutzt werden

können. Zeigen die Analysen und Visualisierungen nicht die erwarteten Ergebnisse, liegen möglicherweise Fehler vor (z. B. zu kurzer Betrachtungszeitraum der gewählten Daten oder vertauschte Maschinendaten). Zur Überprüfung sind Rückschritte in die Phasen 1 und 2 notwendig.

Phase 5 wird dem Basismodell hinzugefügt. Es ermöglicht die Überführung der Daten in betriebliche Informationssysteme des Unternehmens. Das Projektmanagement wird aufgefordert, die zu überführenden Daten zu prüfen und die Übermittlung zu bestätigen. Treten bei der Übermittlung Fehler auf, müssen diese manuell geprüft werden. Dazu sind Rückschritte in die Phasen 1 und 2 notwendig.

4.2.13 Interoperabilitätskonzepte

Der systematische Ansatz zur Gewährleistung der Fähigkeit der Kommunikation, der Interaktion, des Datenaustauschs und der Zusammenarbeit unterschiedlicher Informationssysteme, -anwendungen und -komponenten wird in zwei Interoperabilitätskonzepten umgesetzt. Beide Konzepte legen den Fokus auf den Austausch von Informationen und die funktionale Zusammenarbeit von verschiedenen Systemen oder Anwendungen. Interoperabilität ist relevant in Umgebungen, in denen verschiedene Systeme und Technologien koexistieren und zusammenwirken müssen. Die Herausforderung besteht darin, sicherzustellen, dass diese Systeme, trotz ihrer Unterschiedlichkeiten, kohärent und nahtlos miteinander arbeiten können.

Konzept 1 beschreibt die nahtlose Integration und Kommunikation zwischen Dataject-Anwendung, Ontologie und einem vereinfachten betrieblichen Informationssystem im Rahmen des Projektes (Abbildung 4-43, links). Die Vereinfachung wird vorgenommen, um Funktionsfähigkeit und Durchgängigkeit der Demonstrationsplattform zu demonstrieren. Die Schnittstellenentwicklung zu unterschiedlichen ERP-Systemen ist für die Zielerreichung nicht erforderlich. Eine Anbindung an im Unternehmen eingesetzte Informationssysteme erfolgt erst im Rahmen der betrieblichen Einführung der Dataject-Anwendung (Abbildung 4-43, rechts). Dafür wird Konzept 2 entworfen.

Kern des Interoperabilitätskonzepts (**Konzept 1**) ist die unternehmensspezifische Ontologie. Diese liegt in Form einer .OWL-Datei auf dem Fuseki-Server und wird via SPARQL-Queries von der Dataject-Anwendung angesprochen. Die Dataject-Anwendung, alternativ bezeichnet als Demonstrationsplattform, besteht aus den Komponenten „Demonstrationsplattform (PM)“, also der Komponente, die durch das Projektmanagement bedient wird und der Komponente „Demonstrationsplattform (Baustelle)“, also der Komponente der Demonstrationsplattform, die auf der Baustelle bedient wird. Über Standardschnittstellen und Übertragungsprotokolle werden Daten mittels Sensorik/Hardware manuell durch den Monteur oder (teil-)automatisch auf der Baustelle erfasst, in der Anwendung verarbeitet und dem Projektmanagement bereitgestellt. Die Dataject-

Anwendung selbst enthält eine kleine Toolbox an Analysemethoden und Visualisierungsverfahren. Ergänzende Datenanalysen und -visualisierungen sind über die angebotenen Assistenzwerkzeuge möglich. Die Datenübertragung an die Assistenzwerkzeuge erfolgt über die gleichen Standardschnittstellen und Übertragungsprotokolle wie bei der Datenerfassung. Die in der Dataject-Anwendung aufgenommenen Daten werden via SPARQL-Updates in die Ontologie geschrieben. Daten aus dem vereinfachten betrieblichen Informationssystem, im Falle der im Projekt entwickelten Testumgebung in Microsoft Excel®, werden via Makro, geschrieben in VBA, in die Ontologie eingelesen. Ein weiteres Makro, ebenfalls in VBA geschrieben, ermöglicht den direkten Datenaustausch zwischen Microsoft Excel® und der Dataject-Anwendung.

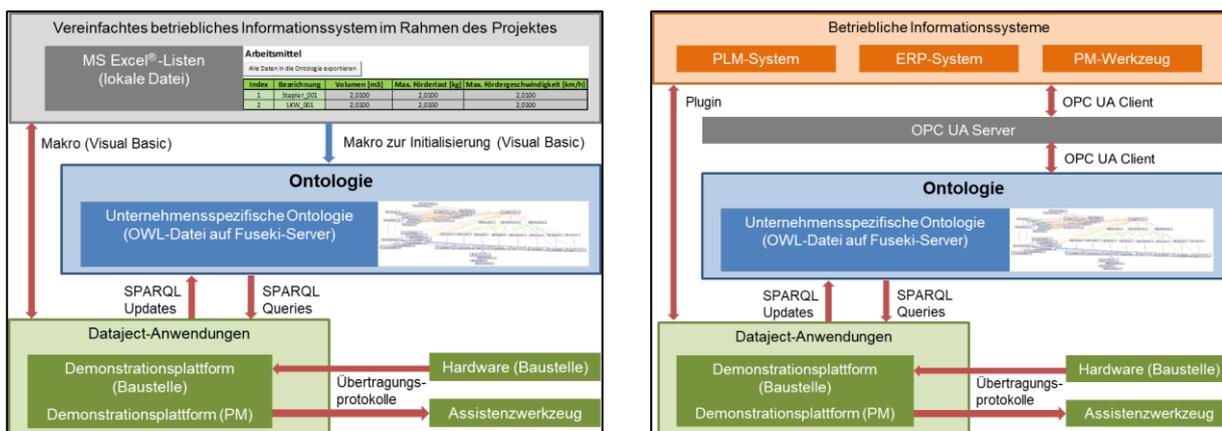


Abbildung 4-43: Interoperabilitätskonzepte aus Projekt- (links) und Anwendersicht (rechts)

Das unternehmensinterne Interoperabilitätskonzept (**Konzept 2**) unterscheidet sich von Konzept 1 in der Kommunikation zwischen betrieblichem Informationssystem und Ontologie. Damit die beiden Komponenten über verschiedene Netzwerke hinweg miteinander kommunizieren können, wird ein OPC UA-Server (OPC UA= Open Platform Communications Unified Architecture) zwischengeschaltet (siehe Kellner 2022). Beide Komponenten senden Daten an und empfangen Daten von dem Server mit Hilfe eines OPC UA-Clients. Werden Daten zwischen betrieblichen Informationssystemen und der Dataject-Anwendung ausgetauscht, erfolgt der Austausch über ein Plugin.

4.2.14 Evaluation der Projektergebnisse

Die Demonstrationsplattform und das Projekt wurden im Mai 2023 durch den PA online evaluiert. Analog der Evaluation der Methodik und des semantischen Modells wurde mit der Evaluation überprüft, ob mit den Ergebnissen die beabsichtigten Ziele erreicht wurden und ob diese die gesetzten Anforderungen erfüllen. Die Evaluation ist in zwei Teile gegliedert. Der erste Teil erläutert die Durchführung und die Ergebnisse der Evaluation der Demonstrationsplattform, der zweite Teil erläutert die Durchführung und die Ergebnisse der Projektevaluation. Nachfolgend werden beide Evaluationen vorgestellt. Die für die Evaluation erarbeiteten Fragebögen sind dem Anhang P (zur Demonstrationsplattform) und dem Anhang Q (zum Projekt) zu entnehmen.

Teil 1: Evaluation der Demonstrationsplattform

Im Mai 2023 wurde den PA-Mitgliedern in zwei einstündigen Online-Terminen die Demonstrationsplattform vorgestellt und die entwickelten Ergebnisse präsentiert. An den (identischen) Präsentationen nahmen 6 Personen teil. Anschließend bewerteten diese die Demonstrationsplattform anhand mehrerer Fragen mit Hilfe eines Online-Fragebogens. Bis zum 17.05.2023 gab es 4 vollständige Rückmeldungen. Der online via LimeSurvey bereitgestellte Fragebogen gliedert sich in fünf Abschnitte mit den nachfolgend erläuterten Schwerpunkten:

- **Abschnitt 1: Zielerreichung**

Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines semantischen Modells des Digitalen Schattens für die Logistikprozesse im Maschinen- und Anlagenbau. Mit diesem soll die Erfassung und Rückmeldung von Daten an die Projektplanung realisiert werden. Die Zielerreichung wird über fünf Fragestellungen abgefragt, die darauf abzielen, den Nutzen für die Rollen Projektmanager und Monteur, die Wahrscheinlichkeit des operativen Einsatzes der Demonstrationsplattform im Unternehmen, den wirtschaftlichen Mehrwert der Anwendung im Unternehmen und die Allgemeingültigkeit der entwickelten Demonstrationsplattform zu bewerten.

- **Abschnitt 2a: Umgebung der Demonstrationsplattform**

Die Umgebung zur Anwendung der Demonstrationsplattform umfasst alle Aufgaben zur Projektplanung und -steuerung in der Werkstatt- und Baustellenmontage auf Basis von Rückmeldungen zu logistischen Prozessen. In Abschnitt 2a werden Fragen zu Benutzerfreundlichkeit, dem erwartbaren Nutzen der Demonstrationsplattform zur Beschreibung eines Digitalen Schattens, die zu erwartenden Prozessverbesserungen im Unternehmen durch die Anwendung der Demonstrationsplattform, der Höhe des technischen Aufwands zur Implementierung der Demonstrationsplattform in die IT-Infrastruktur des Unternehmens gestellt. Zudem können die Teilnehmer erläutern, welche Umsetzungshürden sie bei der Einführung der Demonstrationsplattform im Unternehmen sehen.

- **Abschnitt 2b: Umgebung des semantischen Modells**

Die Umgebung des semantischen Modells beschreibt die Wissensbasis zur Nutzung der Demonstrationsplattform. Mit Hilfe von fünf Fragestellungen soll bewertet werden, wie sinnvoll sie die Nutzung eines semantischen Modells zur Beschreibung eines Digitalen Schattens einschätzen. Zudem wurden Adaptionaufwand der Ontologie und die Bereitschaft der Aneignung des Knowhows zur Nutzung der Ontologie erfragt. Die Fragen 4 und 5 zielen darauf ab, die Hürden der Nutzung der Ontologie sowie die favorisierte Nutzungsform der Ontologie zu erfragen.

- **Abschnitt 3: Struktur**

Die Struktur beschreibt den Aufbau der Demonstrationsplattform. Dazu werden sechs Fragestellungen formuliert. Zunächst haben die Teilnehmer die Möglichkeit, neben dem bereits implementierten Funktionsumfang weitere gewünschte Funktionen zu benennen. Die Fragen 2 bis 5 zielen darauf ab, wie hoch die Zugänglichkeit zu Wissen über Logistikprozesse auf der Baustelle mit Hilfe der Demonstrationsplattform, der Erkenntnisgewinn durch die Nutzung der Demonstrationsplattform sowie der Aufbau und die Konsistenz der Demonstrationsplattform zu bewerten sind. Die abschließende Frage in Abschnitt 3 dient dazu, Änderungswünsche der Bedienbarkeit der Demonstrationsplattform zu erfragen.

- **Abschnitt 4: Aktivitäten**

Die Ausführung von Aktivitäten dient der Bedarfserfüllung unter Nutzung der Demonstrationsplattform. Mit Hilfe von fünf Fragestellungen sollen die Teilnehmer das Vertrauen in die von der Demonstrationsplattform gelieferten (Teil-)Ergebnisse, die Transparenz und Nachvollziehbarkeit der (Teil-)Ergebnisse und die Praktikabilität der Demonstrationsplattform bewerten. Außerdem werden die Teilnehmer angehalten, Vorteile und Nachteile durch die Nutzung der Demonstrationsplattform zu benennen.

- **Abschnitt 5: Entwicklung**

Die Entwicklung der Demonstrationsplattform erfolgt auf Basis von Anforderungen, die sich auf verschiedene Eigenschaften auswirken. In Abschnitt 5 werden vier Teilfragen gestellt, die nach der Erfüllung verschiedener Eigenschaften, dem Nutzen der unterschiedlichen Funktionsbereiche, Verbesserungsvorschlägen in den einzelnen Funktionsbereichen und weiteren, potenziellen Anwendungsfällen, die mittels der Demonstrationsplattform zu erproben sind, fragen.

Für die Beantwortung der Fragen werden Skalen von 0 bis 5 zur Verfügung gestellt, wobei der Minimalwert „0“ der schlechteste Wert die Bedeutung „gar nicht“ und der Maximalwert „5“ der beste Wert die Bedeutung „im vollen Umfang“ / „zur vollsten Zufriedenheit“ hat. Außerdem können auch keine Angaben gemacht werden. Jede Frage, die auf der Skala von 1 bis 5 zu bewerten ist, kann in einem Freitextfeld begründet werden. Der Evaluationsbogen (siehe Anhang P) wird im Anschluss der Ergebnisvorstellung gemeinsam diskutiert. Somit können Anmerkungen direkt protokolliert werden. Die Evaluationsergebnisse sind in Abbildung 4-44 - Abbildung 4-50 einzusehen. Exemplarisch werden aus jedem Abschnitt Fragen erläutert und deren Bewertungen sowie die Anmerkungen der PA-Mitglieder vorgestellt.

Der **Abschnitt Zielerreichung (Abschnitt 1)** wird auf fünf Einzelfragen heruntergebrochen. Abbildung 4-44 lässt erkennen, dass die Erreichung des Projektziels, der Nutzen für das Projektmanagement sowie das Personal auf der Baustelle und die Allgemeingültigkeit der erzielten Ergebnisse am höchsten bewertet werden. Insgesamt werden die in dem Abschnitt abgefragten Merkmale mit durchschnittlich **3,75** bewertet.

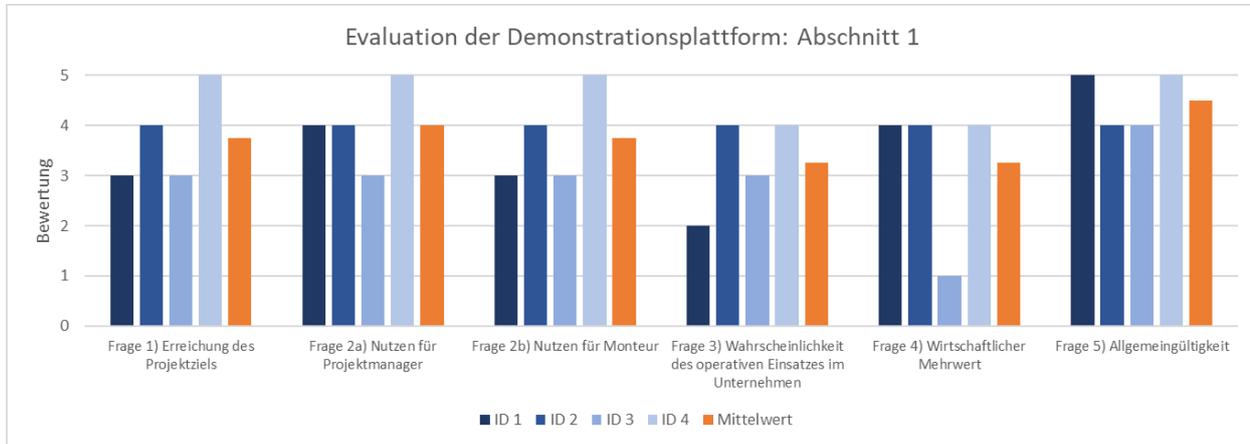


Abbildung 4-44: Auswertung der Evaluationsergebnisse (Demonstrationsplattform, Abschnitt 1)

Die **Umgebung der Demonstrationsplattform (Abschnitt 2a, Abbildung 4-45)** wird im Durchschnitt mit **3,88** ebenfalls hoch bewertet. Die breiteste Streuung findet sich in der Bewertung der ersten Frage: Die Benutzerfreundlichkeit wird teilweise sehr hoch bewertet (ID2: „Ist einfach, übersichtlich und leicht verständlich.“); eine geringe Bewertung von 2 Punkten wurde durch ID3 vergeben: „Es handelt sich um eine eher konventionelle UI – für die Prozessketten könnte stärker mit visuellen Elementen gearbeitet werden!“. Das Feedback wird in der Weiterentwicklung der Demonstrationsplattform berücksichtigt.

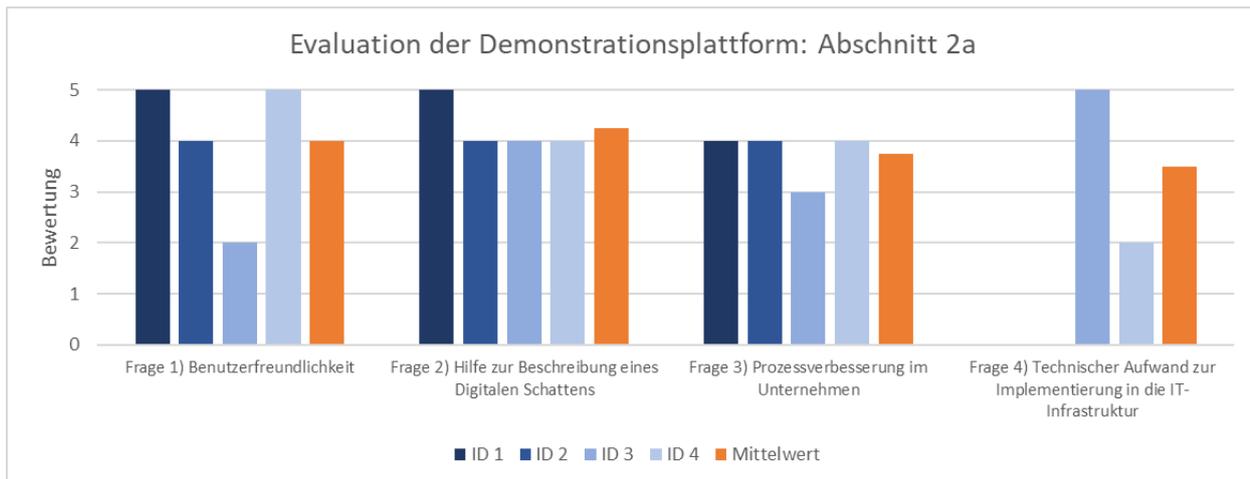


Abbildung 4-45: Auswertung der Evaluationsergebnisse (Demonstrationsplattform, Abschnitt 2a)

Durchweg hoch wird die Hilfe zur Beschreibung eines Digitalen Schattens (Frage 2) bewertet. Ebenfalls (fast einstimmig) hoch wird die erwartbare Prozessverbesserung im Unternehmen durch die Anwendung der Demonstrationsplattform bewertet. Bei der Bewertung des technischen Aufwands zur Implementierung in die IT-Infrastruktur gehen die Bewertungen weit auseinander

bzw. war es zwei Teilnehmern nicht möglich, den Aufwand adäquat einzuschätzen. Einer der beiden begründete seine Antwort: „Hier ist zu klären, welche Systeme bereits bei den Unternehmen im Einsatz sind und wie sich das Ganze zu einem System vereinen lässt. Es darf unterm Strich nicht zu Mehraufwand durch doppelte Eingabe oder manuelle Übertragung von Daten kommen. Auch Parallelsysteme sind zu vermeiden.“

Frage 5 in Abschnitt 2a erfragt die Umsetzungshürden bei der Einführung der Demonstrationsplattform. Folgende Hürden werden genannt:

- „keine in unserem Unternehmen/im gewissen Umfang jedoch bei unseren Kunden, sofern man diese mit in die Entwicklung aktiv mit einbeziehen möchte“
- „Das optimale Ergebnis wird immer einen Invest erfordern – der muss bereitgestellt werden. Integration in vorhandene Infrastruktur und IT-Systeme. Die lange Strecke vom Demonstrator zum produktiven System.“
- „Datenupdate, Speicherdauer der erhobenen Daten, Datensicherheit, MFA für Fernzugriffe“

Die durchschnittliche **Bewertung der Umgebung des semantischen Modells (Abschnitt 2b, Abbildung 4-46)** liegt bei **3,29**. Die Bewertungen des Nutzens des semantischen Modells gehen weit auseinander bzw. wird einmal keine Bewertung vorgenommen und wie folgt begründet: „In der Theorie ist dies eine sehr gute Methode zur Darstellung. In der Praxis ist diese Methode erst einmal erklärungsbedürftig – könnte eine Hemmschwelle für den Einsatz sein.“ Trotz der breiten Streuung erfolgt eine durchschnittliche Bewertung des Nutzens von 3,8 bei dieser Frage. Der Adaptionaufwand wird „hoch“ geschätzt, der Aufwand zur Erfassung und zur Ablage der Logistikdaten sowie der Aufwand der Pflege zur Nachnutzung werden mit knapp unter 3 und knapp über 3 bewertet. So bewertet ID 4 den Nutzen (Frage 1) „hoch“ und sieht die Aufwände (Frage 2) eher „gering“.

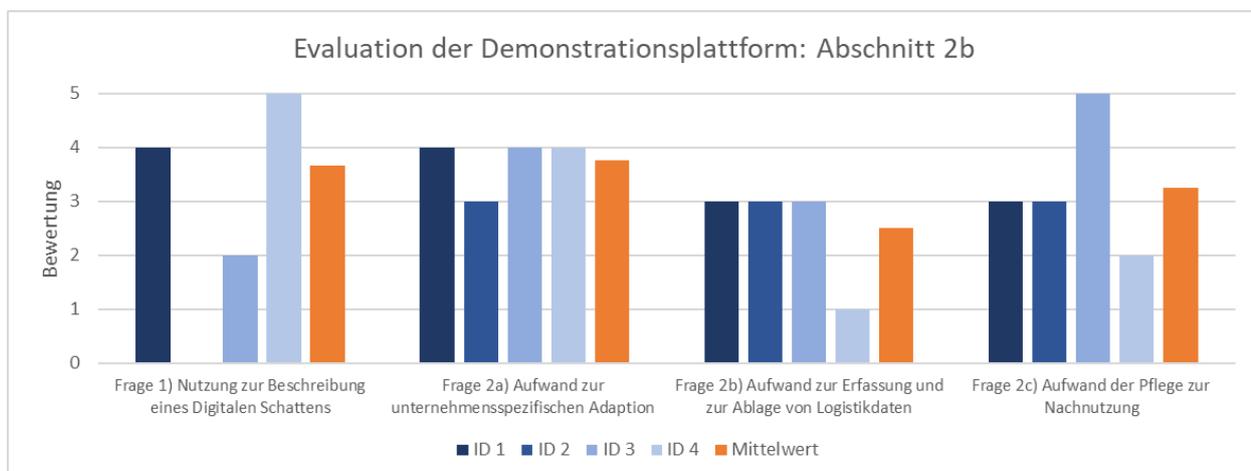


Abbildung 4-46: Auswertung der Evaluationsergebnisse (Demonstrationsplattform, Abschnitt 2b)

Auf die Frage (Abschnitt 2b, Frage 3), ob sich die Teilnehmer vorstellen können, das Knowhow zum Customizing der unternehmensspezifischen Ontologie anzueignen und anzuwenden, antworten zwei Teilnehmer mit „Ja“, je 1 Teilnehmer antwortet mit „Nein“ oder „Keine Angabe“. Die Zugänglichkeit zu Wissen über Logistikprozesse beantworten die Teilnehmer „mittel“ bis „gering“, da zum einen „die Darstellung der Prozesse in textueller Form [...] bzgl. intuitiver Erfassbarkeit limitiert [ist]“. Zum anderen wird argumentiert: „Auf der Baustelle werden sich nur wenige Leute mit dem Thema „Logistik“ bewusst beschäftigen – dort muss es einfach funktionieren, wenn möglich ohne zusätzlichen Aufwand. Das Tracking der Teile muss ohne Buchungen funktionieren. Arbeitszeiten sollten eine sehr einfache Buchungsmöglichkeit haben.“

Die **Struktur der Demonstrationsplattform (Abschnitt 3)** wird über sechs Fragen abgefragt, wobei Frage 1 und 6 mittels Freitexte beantwortet werden. Die Frage nach Ergänzungsvorschlägen zu dem bereits implementierten Funktionsumfang beantworten die Teilnehmer wie folgt:

- „Benutzerführung könnte erweitert werden“
- „Als weiteren Baustein wäre evtl. eine Logistikoptimierung anzugliedern. Wie transportiere ich welche Teile am sinnvollsten wohin auf der Baustelle/bzw. wie kann ich Teile optimiert in meiner Fertigung lagern bzgl. Verbrauch und Wege. Kurze Wege zum Verbrauch, richtige Reihenfolge. Aus den erfassten Daten lässt sich sicher ein entsprechendes Modell ableiten. Optimierung in der Montage.“

Trotz der hohen Aufwände (siehe Abschnitt 2b Frage 2a-2c, Abbildung 4-47) bewerten die Teilnehmer den Erkenntnisgewinn durch die Nutzung der Demonstrationsplattform als „hoch“ (Wert: 4,2). Gleiches gilt für Verständlichkeit und Konsistenz. Begründet wird dies durch folgende Aussagen:

- Zu Frage 3: „Mit der richtigen Auswertung der Daten können Rückschlüsse für eine Optimierung erarbeitet werden.“
- Zu Frage 4: „Gut erklärt, einfach und klar dargestellt.“

Offen bleibt, warum der Teilnehmer (ID4), der die Verständlichkeit am höchsten bewertet hat, keine Aussage zur Konsistenz treffen kann. Gleiches gilt für die Bewertung durch den Teilnehmer ID3. Frage 6 wird mit folgendem Änderungswunsch beantwortet: „intuitivere graphische Benutzerführung wäre wünschenswert.“ Die durchschnittliche Bewertung der Fragen in Abschnitt 3 liegt bei **3,56** und damit hoch.

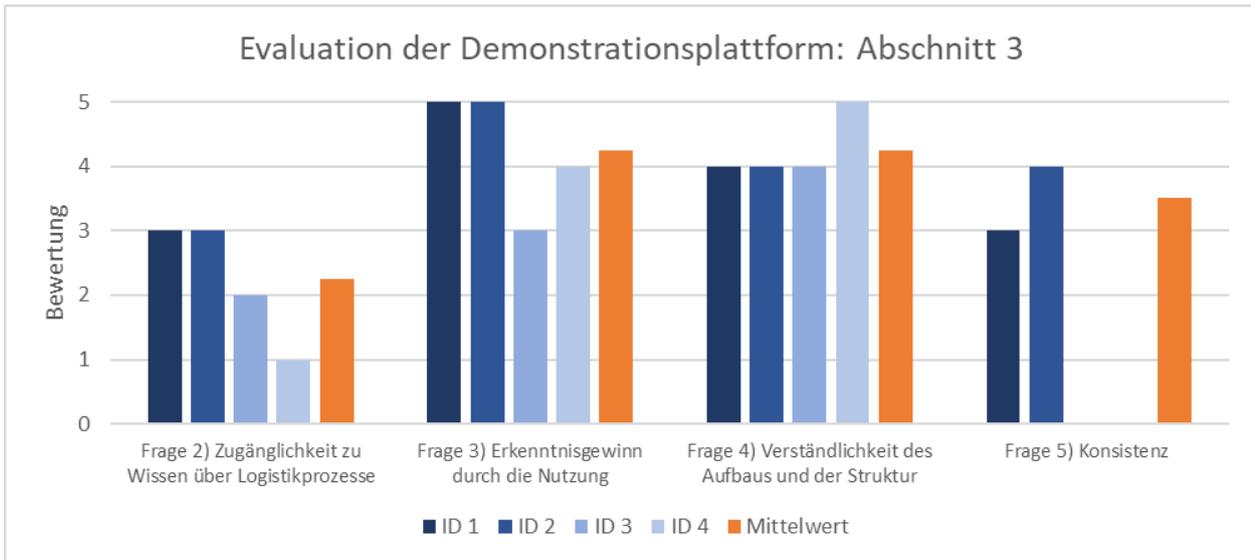


Abbildung 4-47: Auswertung der Evaluationsergebnisse (Demonstrationsplattform, Abschnitt 3)

In **Abschnitt 4** bewerten die Teilnehmer die Praktikabilität der Demonstrationsplattform (Frage 3) mit **4,2** gefolgt vom Vertrauen in die (Teil-)Ergebnisse (siehe Abbildung 4-48) hoch. Bei der Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Technologieauswahl, der Datenerfassung und der Datenausgabe zeichnet sich ab, dass zwei Teilnehmer (ID 2 und ID 4) stets sehr hohe Bewertungen vornehmen, die anderen beiden Teilnehmer (ID 1 und ID 4) stets geringe Bewertungen vergeben. Lediglich Frage 2a (Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Technologieauswahl) bewertet der Teilnehmer (ID 1) hoch. Dies begründet vermutlich seine Bewertung der Frage 3 in Abschnitt 3. Teilnehmer ID 4, der Frage 4, Abschnitt 3, nach der Verständlichkeit des Aufbaus und der Struktur hoch bewertet, bewertet die Fragen 2a – 2c (Abschnitt 4) zu Transparenz und Nachvollziehbarkeit sehr hoch.

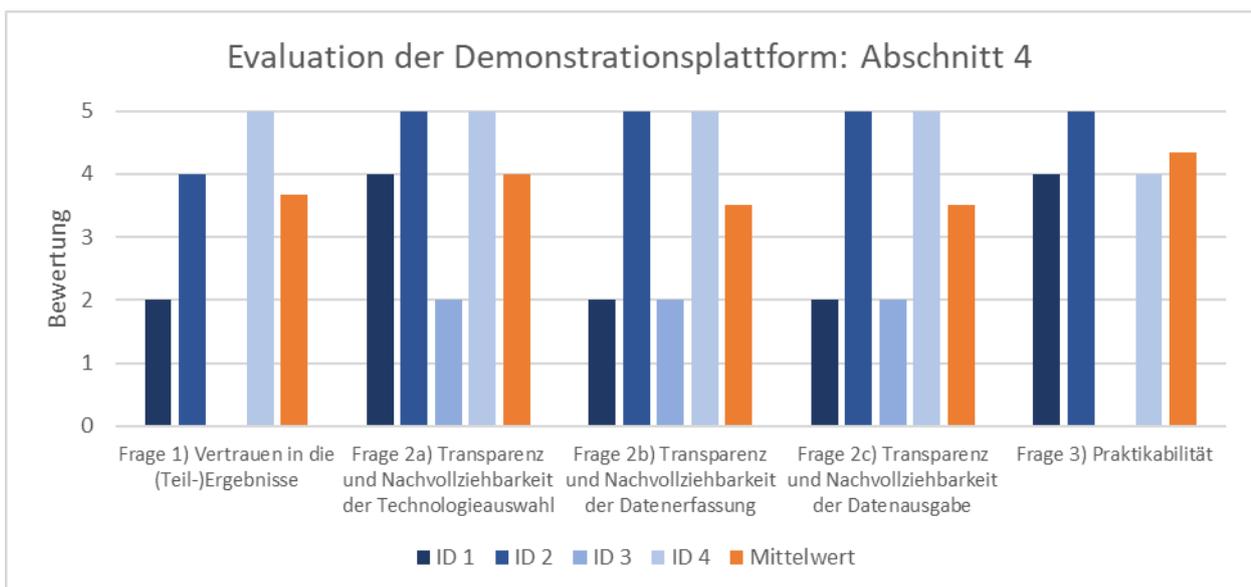


Abbildung 4-48: Auswertung der Evaluationsergebnisse (Demonstrationsplattform, Abschnitt 4)

Als Vor- und Nachteile der Nutzung der Demonstrationsplattform nennen die Teilnehmer:

- Vorteil 1: „schnellere Ergebnisse beim Prototyping“
- Vorteil 2: „Ich kann verschiedene Szenarien testen“
- Vorteil 3: „Potenziell: Digitalisierung bisher analoger Prozesse“
- Nachteil 1: „ein weiteres IT-System, das technisch, organisatorisch und inhaltlich gepflegt und integriert sein will.“

Die durchschnittliche Bewertung der Fragen in Abschnitt 4 liegt bei **3,8** und damit hoch.

Abschnitt 5, Frage 1 beschäftigt sich mit der Erfüllung der Eigenschaften Robustheit gegenüber äußeren Einflüssen, Erweiterbarkeit, Adaptierbarkeit an unternehmensspezifische Bedingungen, Modifizierbarkeit und Lernfähigkeit der Demonstrationsplattform (siehe Abbildung 4-49). Über die Robustheit können lediglich zwei Teilnehmer eine Aussage treffen – ID4, der die Nachvollziehbarkeit und Transparenz sehr hoch bewertet, bewertet auch die Robustheit sehr hoch. Ein Grund dafür kann sein, dass er durch die hohe Nachvollziehbarkeit in der Lage ist, auf Veränderungen im semantischen Modell zu reagieren. Auf Grund der Charakteristik der Ontologie ist nachvollziehbar, dass die Teilnehmer die Erweiterbarkeit mit „hoch“ bis „sehr hoch“ bewertet haben. Einhergehend mit den hohen Aufwänden (Abschnitt 2, Frage 2) zur unternehmensspezifischen Adaption, Datenanreicherung und -pflege eines semantischen Modells bewerten die Teilnehmer den Erfüllungsgrad der Adaptierbarkeit eher gering. Teilnehmer ID 2 kann zu 2a) und 2c) aktuell keine Bewertung vornehmen und begründet das damit, dass es „dort auf einen Praxistest an[kommt]“.

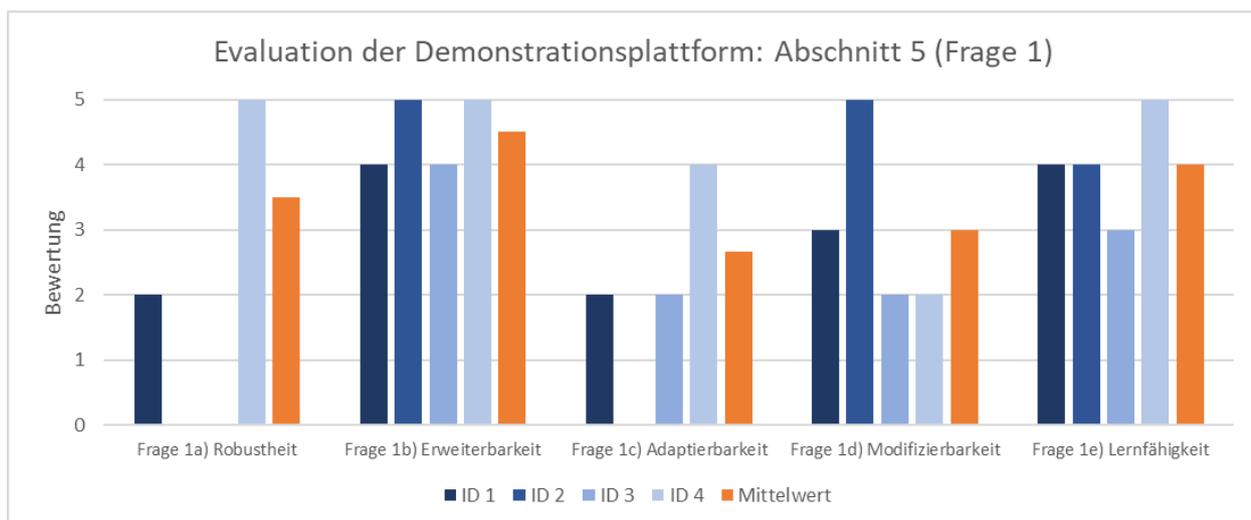


Abbildung 4-49: Auswertung der Evaluationsergebnisse (Demonstrationsplattform, Abschnitt 5, Frage 1)

Bei der Modifizierbarkeit streuen die Bewertungen – Teilnehmer ID 2, der den Erkenntnisgewinn in Frage 3, Abschnitt 3 mit sehr hoch bewertet hat, bewertet die Modifizierbarkeit ebenfalls sehr hoch. Die Lernfähigkeit, die der Demonstrationsplattform innewohnt, wird im Durchschnitt hoch

bewertet und wie folgt begründet: „Die Erweiterbarkeit ist generell vorgesehen. Die Demoplattform ist sicher gut anpassbar. Die Lernfähigkeit – hier sehe ich Potenzial.“ Die durchschnittliche Bewertung der Frage 1 liegt bei **3,53**.

Die Einschätzung des Nutzens der einzelnen Funktionsbereiche der Demonstrationsplattform wird durchgängig hoch bewertet – der Durchschnitt liegt bei **3,79**. Vergleicht man die drei Funktionsbereiche a) Technologieauswahl, b) Datenerfassung und c) Datenausgabe miteinander, lässt sich erkennen, dass der Nutzen des Funktionsbereichs c) am höchsten bewertet wird gefolgt von b) und a) (siehe Abbildung 4-50). Lediglich Teilnehmer ID 2 bewertet hier in umgekehrter Reihenfolge, wobei sich die Funktionsbereiche b) und c) in seiner Bewertung den zweiten Rang teilen. ID 1 und ID 4 bewerten die Frage des Nutzens des Funktionsbereichs a.III) nicht. Teilnehmer ID 3 bewertet den gesamten Funktionsbereich c) nicht und gibt an, er besitze aktuell lediglich ein „Bauchgefühl auf Basis des verfügbaren Stands“.

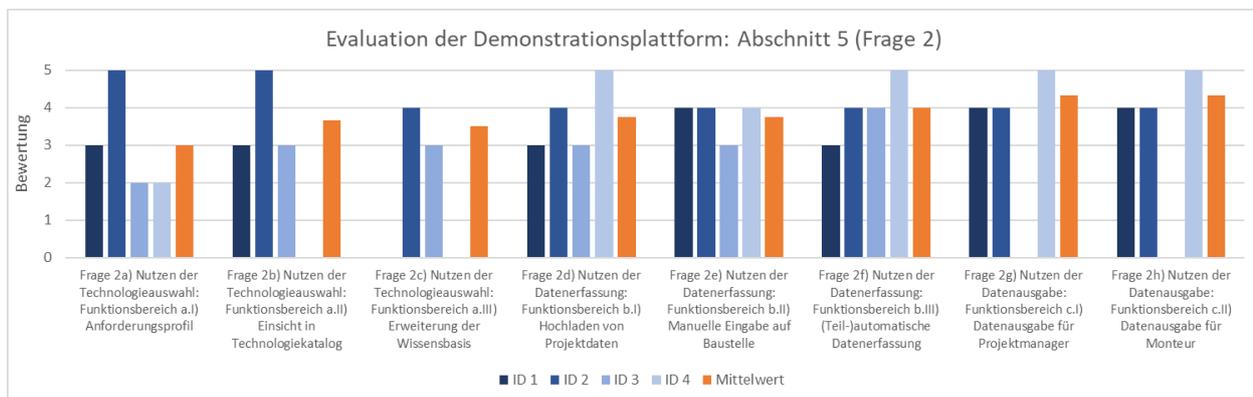


Abbildung 4-50: Auswertung der Evaluationsergebnisse (Demonstrationsplattform, Abschnitt 5, Frage 2)

Für die Funktionsbereiche werden folgende Verbesserungswünsche und weitere Anwendungsbereiche genannt:

- Verbesserungswünsche für a) Technologieauswahl: „Quelle der Technologie, Abdeckung des Lösungsraums“
- Verbesserungswünsche für b) Datenerfassung: „Anbindung von mobilen Geräten, Usability“
- Verbesserungswünsche für c) Datenausgabe: „Integration in bestehende Systeme, die im Zusammenhang die Daten ausgeben können (z.B. ERP-Systeme)“
- Weitere Anwendungsfälle für b) Datenerfassung: „Unterstützung bei der Auswahl der richtigen Technik für die Datenerfassung auf einer Baustelle“
- Weitere Anwendungsfälle für c) Datenausgabe: „Interessant hier die Integration in unser vorhandenes System und die Daten in Relation zu weiteren Informationen aus dem System zu bringen.“

Teil 2: Projektevaluation

Die Evaluation der Projektergebnisse erfolgt im Nachgang des 7. PA-Meetings am 22.05.2023. Die Befragten sind in leitenden Positionen in den beteiligten Anwender- und Dienstleistungsunternehmen bzw. als Multiplikatoren im PA tätig, mit dem Projektverlauf und den Projektergebnissen vertraut und beantworten die Fragen aus ihrer praxisbezogenen Sichtweise. Insgesamt können zwei ausgefüllte Fragebögen ausgewertet werden. Der Fragebogen (siehe Anhang Q) gliedert sich in drei Abschnitte mit den Schwerpunkten:

- Teil 1: Projektziel und -verlauf
- Teil 2: Wissenstransfer über Sitzungen des Projektbegleitenden Ausschusses
- Teil 3: Wissenstransfer über Einzeltermine

Für die Beantwortung der Fragen steht eine Skala von 0 bis 5 zur Verfügung, wobei der Minimalwert „1“ eine Bedeutung von „sehr unzufrieden“ und der Maximalwert „5“ eine Bedeutung von „zur vollsten Zufriedenheit“ hat. Wenn keine Angabe zu einer Fragestellung gemacht werden kann, kreuzen die Teilnehmer „keine Angabe“ an. Den Fragen folgen Freitextfelder mit der Möglichkeit, Einschätzungen zu begründen.

In **Teil 1** bewerten die Teilnehmer **Projektziel und -verlauf**. Beide Teilnehmer geben an, dass sie mit dem erreichten Projektziel (Teil 1, Frage 1) zufrieden sind (4,0 von 5) und begründen ihre Bewertung: „Es ist eine gute Grundlage für die Entscheidungen der Technologie erstellt worden. Dazu sind verschiedene Bereiche analysiert und ausgewertet worden, wie in der Abschlussvorstellung ausgeführt wurde. Es ist die Basis für ein praktisches Tool erstellt worden.“

Ebenfalls eine hohe bzw. sehr hohe Bewertung erfolgt bei den Fragen 2 (Zufriedenheit mit dem Projektverlauf) und 3 (Zufriedenheit mit der Organisation der Projektdurchführung). Die Zufriedenheit mit dem Projektverlauf spiegelt sich in einer Bewertung von 4,0, die Zufriedenheit der Projektorganisation mit einer Bewertung von 4,5 wider; die Bewertung wird wie folgt begründet:

- „Sehr gut vorbereitete Termine. Inhaltlich und organisatorisch. Unter den Rahmenbedingungen („Corona“) sicher erst einmal eine Umgewöhnung. Schade, dass viele Teilnehmer nicht konsequent bei den Meetings anwesend waren. Schön wäre vielleicht nochmal ein Präsenstermin gewesen. Aber wie viele daran teilgenommen hätten...? Schade ist der doch relativ aufwändige Papierkram mit der Erfassung der Leistungen des PA.“
- „Insgesamt zufrieden. Kurz vor dem Ziel wurde es doch ein wenig zu einem Sprint mit einer recht hohen Taktung. Das ist allerdings auch nichts Außergewöhnliches bei Projekten. Die PA-Sitzungen online durchzuführen hätte jedem Teilnehmer die Möglichkeit geboten dabei zu sein – wurde leider so nicht genutzt. Liegt aber nicht an der Organisation.“

Besonders gut (Teil 1, Frage 4) gefallen einem Teilnehmer „Der sehr angenehme Ton und die ausführlichen Darstellungen der erarbeiteten Inhalte. Nicht jeder der Teilnehmer im PA ist von Anfang an mit der Darstellung (z. B. Ontologie) vertraut gewesen – wurde sehr gut aufgearbeitet. Die Möglichkeit der Onlinemeetings sehr gut genutzt und umgesetzt – hat sehr viel Zeit gespart. Die erarbeiteten Daten den Teilnehmern in einem geschützten Bereich zum Download zur Verfügung gestellt. Die Möglichkeit, dass sich verschiedene PA-Mitglieder mit ihren Kompetenzen vorstellen konnten.“

Als Verbesserungsvorschlag (Teil 1, Frage 5) merkt er an: „Vielleicht hier und da [...] die praktische Seite bei einem PA-Teilnehmer zu zeigen (Firma ansehen, vielleicht einen Projekttag eines PA-Mitgliedes begleiten – um da evtl. noch ein besseres Gefühl für den Inhalt aufzubauen.) Natürlich nur, wenn es möglich ist und Sinn macht.“

Alle Teilfragen zum „**Wissenstransfer über Sitzungen des PA**“ (Teil 2) werden durchweg positiv bewertet. Frage 1, die die Zufriedenheit mit den durchgeführten Sitzungen abfragt, wird mit 4,5 sehr hoch bewertet. Ein Teilnehmer gibt nur 4 Punkte und begründet seine Angabe wie folgt: „Theorie ist sicher nicht immer leicht zu präsentieren. Für Themen, die sehr „trocken“ und theoretisch sind, sind Termine am Vormittag vielleicht besser (persönlich auf jeden Fall). Hier und da eine Auflockerung, oder ein Beispiel aus der Praxis sind hilfreich und unterstützend. Pausen wären vielleicht nach 45-60min gut, sind aber schwierig, da nicht alle Teilnehmer pünktlich retour sind.“

Die Online-Durchführungen der Sitzungen (Teil 2, Frage 2) und die Anzahl der Sitzungen (Teil 2, Frage 3) haben beide Teilnehmer als angemessen bewertet und heben positiv hervor: „Wenig Zeitverlust durch Reisen. Kurzfristigere Termine möglich. Gute Darstellung der Ergebnisse möglich. Rahmen kann sich jeder selbst bilden und damit effektiv an der Veranstaltung teilnehmen.“ Der Begründung eines Teilnehmers kann entnommen werden, dass die Anzahl der Meetings um 1-2 Termine, speziell mit den Anwenderunternehmen, erhöht werden könnte.

Mit der Zusammensetzung des PA (Teil 2, Frage 4) zeigen sich die Teilnehmer weniger zufrieden. Hier wird eine durchschnittliche Bewertung von 3 vorgenommen. Begründet wird die Bewertung damit, dass „Mehr Maschinenbauunternehmen“ dem PA gutgetan hätten. Die „Zusammensetzung an sich war gut, die Disziplin lässt allerdings zu wünschen übrig.“

Mit der Präsentation der (Teil-)Ergebnisse (Teil 2, Frage 5) sind beide Teilnehmer sehr zufrieden und bewerten diese Frage mit durchschnittlich 4,5. Ein Teilnehmer lobt: „Sehr gut vorbereitet und dargestellt. Die Unsicherheiten bei der Präsentation am Anfang sind zum Ende deutlich geringer geworden. Online ist es immer schwierig – es fehlt leider häufig am Feedback – keiner der Teilnehmer äußert sich – das verunsichert.“

Die Berücksichtigung der Hinweise des PA im weiteren Projektverlauf (Teil 2, Frage 6) bewerten die Teilnehmer ebenfalls mit 4,5 sehr hoch. Sie haben sich „abgeholt“ und „wahrgenommen“ gefühlt.

In **Teil 3** beantworten die Teilnehmer drei Fragen zum „**Wissenstransfer über Einzeltermine**“. Beide Teilnehmer haben außerhalb der regelmäßigen Sitzungen mit dem Projektteam zusammengearbeitet (Teil 3, Frage 1) und sind mit der Zusammenarbeit sehr zufrieden (Teil 3, Frage 2). Die Durchschnittliche Bewertung von 4,5 begründen die Teilnehmer damit: „Wie schon geschrieben – ich würde von meiner Seite auch jederzeit jemanden mal mit in die Praxis nehmen, wenn gewünscht und möglich. Insgesamt aber sehr gut.“ Die Integration des Inputs aus der Wirtschaft in die inhaltlichen Ausarbeitungen (Teil 3, Frage 3) bewerten die Teilnehmer ebenfalls mit durchschnittlich 4,5. Als abschließenden Hinweis gibt ein Teilnehmer dem Projektteam mit auf den Weg: „Macht weiter mit solchen Projekten in Zusammenarbeit mit der Industrie!“

4.2.15 Dokumentation und Transfer

Zum Projektstart werden Projektkurzbeschreibungen in den Campusmagazinen beider Forschungsstellen (Aktuelles der Fakultät Wirtschaftsinformatik 2021; Presseportal Universität Kassel 2021) sowie im Jahresrückblick der Netzwerkbrochure Mobilitätswirtschaft Nordhessen 2021 platziert (Wenzel et al. 2022a). Neben der umfassenden Dokumentation der in den Arbeitsschritten erzielten Ergebnisse werden die erreichten Ergebnisse in der Fachzeitschrift Industrie 4.0 Management veröffentlicht (Wenzel et al. 2022b). Die Methodik zur Auswahl von Datenerfassungstechnologien wird in der Fachzeitschrift Projektmanagement-Aktuell publiziert (Gliem et al. 2023). Alle Publikationen, projektbegleitenden Abschlussarbeiten und Vorträge sind in Abschnitt 6.2 aufgelistet. Nach Projektende wird ein Beitrag in der Zeitschrift Logistics Research eingereicht. Die Einbeziehung des wissenschaftlichen Nachwuchses in die Forschungsarbeiten erfolgt über einschlägige Abschlussarbeiten an den beteiligten Universitäten.

Die Projektwebseite www.dataject.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 sind die zugewendeten Mittel notwendig zur Erreichung des Forschungsziels und leisten einen angemessenen Beitrag zum Forschungsvorhaben. Zur Durchführung der Arbeiten hat **Forschungsstelle 1** über die Projektlaufzeit insgesamt 23 Personenmonate wissenschaftlich-technisches Personal anteilig in den einzelnen Arbeitsschritten eingesetzt. Entgegen der Bewilligung konnte eine Besetzung der Stelle bei Forschungsstelle 1 erst

zum 01.07.2021 erfolgen. Die zeitliche Verschiebung wird durch eine kostenneutrale Verlängerung des Projektes um 3 Monate aufgefangen. Der seitens des Konsortiums im Antrag erstellte Arbeitsplan konnte somit bestehen bleiben, deren Bearbeitung sich - bedingt durch die verspätete Stellenbesetzung – lediglich zeitlich leicht verschob. Die zugewendeten Mittel wurden durch beantragte Ratenumstellungen bedarfsgerecht auf die Jahre 2021, 2022 sowie 2023 verteilt. Im Jahr 2023 hat Forschungsstelle 1 abweichend von dem beantragten Ressourcenbedarf 1,5 Personenmonate für die Monate Februar und März beansprucht sowie anschließend lediglich 0,5 Personenmonate bis Projektende (2 Monate: April und Mai) verbucht. Geräte und Leistungen Dritter wurden weder beantragt noch eingesetzt.

Forschungsstelle 2 hat zur Durchführung der Arbeiten über die Projektlaufzeit insgesamt 21 Personenmonate wissenschaftlich-technisches Personal anteilig in den einzelnen Arbeitsschritten eingesetzt. Entgegen der Bewilligung konnte eine Besetzung der Stelle bei Forschungsstelle 2 erst zum 01.06.2021 erfolgen. Die zeitliche Verschiebung wird – wie bei Forschungsstelle 1 – durch eine kostenneutrale Verlängerung des Projektes aufgefangen. Die zugewendeten Mittel wurden – wie bei Forschungsstelle 1 – durch beantragte Ratenumstellungen bedarfsgerecht auf die Jahre 2021, 2022 sowie 2023 verteilt. Geräte und Leistungen Dritter wurden weder beantragt noch eingesetzt.

5 Wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Nutzen der Forschungsergebnisse für KMU

Die Forschungsergebnisse werden hauptsächlich dem Wirtschaftszweig Maschinenbau zugeordnet. Eine Übertragung der Forschungsergebnisse auf andere Wirtschaftszweige scheint prinzipiell möglich, ist jedoch im Einzelfall hinsichtlich der spezifischen Restriktionen zu prüfen. Der unmittelbare Nutzen des entwickelten semantischen Modells als Bestandteil der Demonstrationsplattform wird nachfolgend an zwei Beispielen von Unternehmen aus dem PA exemplarisch beschrieben. Beide Unternehmen waren intensiv in die Entwicklung eingebunden und planen Maßnahmen, um die Erfassung von Logistikdaten zukünftig unter Anwendung der Ideen aus dem Dataject-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. Die Produkte werden möglichst modular entwickelt, geprüft und erst beim Kunden auf der Baustelle vor Ort montiert. Für die Montage liegen Daten vor, die jedoch nicht systematisch erfasst und für die Weiterverwendung bereitgestellt werden. Mit der bereitgestellten Demonstrationsplattform kann eine genauere Datenerfassung der Arbeitszeiten erfolgen, die im Nachgang eine entsprechende Analyse ermöglicht (siehe Noder 2023, Rehs 2023). Die Firma **OKEL GmbH** ist im Bereich Innenausbau (Trockenbau, Schreiner, Maler und Metallbau) tätig. Der Umgang mit Realdaten, insbesondere bei der Überwachung von Arbeits(hilfs-)mitteln, ist für das Unternehmen von wirtschaftlichem Interesse. Hierfür liegen heute kaum Daten vor bzw. diese wurden mit einem erheblichen wirtschaftlichen Aufwand manuell erfasst. Grund dafür ist die fehlende Kenntnis über den Einsatz geeigneter Technologien zur Datenerfassung und Bereitstellung mit adäquatem wirtschaftlichem Aufwand. Mit der Demonstrationsplattform kann dem Unternehmen aufgezeigt werden, wie Daten (teil-)automatisch zu erfassen sind und eine transparente Ortung der Arbeits- und Hilfsmittel, der zugewiesenen Benutzer auf der Baustelle sowie deren konkrete Projekte möglich werden (siehe Rüger 2023).

5.1 Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von KMU

Der Einsatz des im Dataject-Projekt entwickelten semantischen Modells wird eine verbesserte Datenerfassung und -bereitstellung für das Projektmanagement in Form eines digitalen Schattens der logistischen Prozesse im Maschinen- und Anlagenbau zulassen. Die verbesserte Datenerfassung führt zu einer erhöhten Prozesstransparenz der Logistikprozesse und kann folglich zu einer Senkung der Projektrisiken bzw. zu einer Kostensenkung führen. Die erhöhte Datenverfügbarkeit durch eine reale, echtzeitnahe Rückmeldung zu den durchgeführten Logistikprozessen führt zu einer Steigerung der Planungsqualität, -genauigkeit und -sicherheit. Das semantische Modell als Bestandteil der entwickelten Demonstrationsplattform ermöglicht eine effizientere und

schnellere Projektsteuerung, die echtzeitnahe Bereitstellung der erfassten Daten und aktuellen Logistikinformationen ohne komplizierte und zeitintensive Suche. Die Verkürzung der benötigten Zeit zur Informationssuche führt ebenfalls zu einer Reduzierung der Planungs- und Projektkosten. Liegt eine transparente Datenbasis vor, werden mit Hilfe der Dataject-Anwendung schneller Meldungen bei Prozessabweichungen gegeben und die Planungsabteilung hat eine deutlich bessere Reaktionsmöglichkeit, um auf Störungen im Ablauf zu reagieren. Dies steigert die Planungsflexibilität.

Der konkrete Mehrwert bei Anwendung des Digitalen Schattens lässt sich nur für einen konkreten Anwendungsfall bzw. ein konkretes KMU quantifizieren. Die Experten der Forschungsstellen folgen Boenert und Blömeke (2006) und gehen davon aus, dass mit der Dataject-Methodik mehr als 30 % der Arbeitszeit auf Baustellen eingespart werden können, da Zeiten für Materialsuche, Aufräumen und Umräumen, Wege und Transporte nahezu entfallen.

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

Zum Abschluss dieses Projektes liegt mit dem ontologiebasierten semantischen Modell ein leistungsfähiger Ansatz zur Planung und Überwachung logistischer Prozesse während der Montage auf der Baustelle vor. Das Gesamtkonzept sowie das Nutzungskonzept sind in allgemeiner Form beschrieben und publiziert worden, was es interessierten KMU ermöglicht, eine individuelle Evaluation im Hinblick auf mögliche Anwendungen vorzunehmen. Beide Forschungsstellen hegen ein starkes Interesse daran, die im Rahmen dieses Projektes erlangten Erkenntnisse in zukünftigen Transferprojekten zur Entwicklung spezifischer Lösungen für individuelle Unternehmen zu adaptieren. Die realisierte Demonstrationsplattform sowie beispielhafte Anwendungen stellen hierfür eine solide Basis dar.

Die in Visual Studio® entwickelte Demonstrationsplattform lässt sich prinzipiell zu einer kommerziellen Lösung weiterentwickeln. Die im Hintergrund verwendete Ontologie auf Basis der Software Protégé® ist aktuell frei verfügbar. Erste Gespräche zu einer möglichen Entwicklungs- und Vermarktungspartnerschaft zwischen den Forschungsstellen und der ams.Solution AG zur Anbindung der entwickelten Demonstrationsplattform an deren ERP-Software sollen im dritten Quartal 2023 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. Zu diesem Themengebiet finden sich am Markt aktuell keine derartig qualifizierten Leistungsangebote für die Projektplanung im Maschinen- und Anlagenbau, die auf Basis der im Unternehmen abgelegten Daten eine Planung und Überwachung der logistischen Prozesse während der Montage auf der Baustelle ermöglichen.

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 5. PA-Meeting 6. PA-Meeting 7. PA-Meeting	21.07.2021 25.11.2021 03.02.2022 22.06.2022 18.10.2022 15.03.2023 22.05.2023
Maßnahme B: Gezielte Ansprache interessierter Unternehmen auch außerhalb des PAs	Erweitertes Feedback zu den Ergebnissen sowie industrielle Anwendung	B1: Ansprache von Unternehmen der Branche	Gewinn neuer Mitglieder: ams.Solution AG	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.dataject.de	2. Quartal 2021, 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 D3: Zusammenfassende Darstellung auf der Webseite des Verbands	D1/D2: Informationen zum Projektstand an die BVL versandt D3: Online unter: https://www.bvl.de/service/forschungsfoerderung/laufende-projekte	2. Quartal 2021 2. Quartal 2021

Maßnahme E: Gremienarbeit, Einbeziehung von Multiplikatoren	Bekanntmachung des Vorhabens und seiner Ergebnisse in Gremien, Arbeitskreisen, Fachverbänden und Netzwerken: Beide Forschungsstellen sind aktive Mitglieder in zahlreichen Gremien und Netzwerken.	E1: Beteiligung an ausgewählten Regionalveranstaltungen oder Publikationen im MoWiN.net e.V.	Im Mobilitätswirtschaft Nordhessen (MoWin.Net) Jahresrückblick 2021, S. 48 publiziert	2022
Maßnahme F: Nutzung von Multiplikatoren der Hochschulen	Bekanntmachung des Vorhabens im wirtschaftlichen und wissenschaftlichen Umfeld; Erhöhung des Bekanntheitsgrades sowie industrielle Anwendung	F1: Pressemitteilungen der beteiligten Universitäten F2: Forschungsportale der Forschungsstellen	Campus News der Uni Kassel, Campus3 Magazin der WHZ Veröffentlichung in Converis	Juni 2021 Juni 2021 Laufend
Maßnahme G: Veröffentlichung	Ergebnistransfer in Wirtschaft und Wissenschaft	G1: Initiierung von Abschlussarbeiten und Dissertationen G2: Beiträge in Fachzeitschriften (z. B. Industrie 4.0 Management, ZWF)	Wissenschaftliche Arbeiten: 10 (s. Abschnitt 6.2) Industrie 4.0-Management, Heft 3 in 2022 Projektmanagement-Aktuell, Heft 4 in 2023	Ab Beginn 07.06.2022 11.09.2023
Maßnahme I: Akademische Lehre und berufliche Weiterbildung	Vermittlung der Ergebnisse an die Studierenden durch die enge Verzahnung von Forschung und Lehre	I1: Bachelor-Lehrveranstaltungen an der WHZ im Fachprofil Wirtschaftsinformatik I2: Lehrveranstaltung im Master Management, Fach PM an der WHZ I3: Lehrveranstaltungen des Maschinenbaus und der Wirtschaftsingenieure an der UniKS: Seminar: Ausgewählte Themen zur digitalen Produktions- und Logistikplanung I4: Weiterbildungsmasterstudiengang „Industrielles Produktionsmanagement“, UniKS (Leitung: S. Wenzel)	Erledigt	Laufend

6.1.2 Geplante Transfermaßnahmen nach Ende des Vorhabens

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

Tabelle 6-2: Geplante Transfermaßnahmen

Geplante Maßnahme	Ziele	Rahmen	Datum/Zeitraum
Maßnahme H: Publikation auf wissenschaftlichen Tagungen	Bekanntmachung im wissenschaftlichen Umfeld	H1: International Scientific Symposium on Logistics	Juni 2024
Maßnahme J: Veröffentlichungen	Ergebnistransfer in die Wissenschaft	J1: Beiträge in internationalen Fachzeitschriften (z. B. Logistics Journal, Logistics Research) J2: Bericht auf der Webseite der BVL J3: Veröffentlichung des Abschlussberichtes	Quartal 1-2024 Quartal 4-2023 Quartal 4-2023
Maßnahme K: Transfer in die Industrie durch Verband	Ergebnistransfer in die Wirtschaft	K1: Zusammenfassende Darstellung im Forschungsreport und Verbreitung durch die BVL in Industrie	Quartal 4-2023
Maßnahme L: Industrieberatung auf Basis der Forschungsergebnisse	Individueller Transfer der Ergebnisse in die Industrie	L1: Beratungsgespräche nach Bedarf	Start Mitte 2023, dann laufend
Maßnahme M: Initiierung einer Entwicklungspartnerschaft	Prüfung einer Zusammenarbeit zur Umsetzung der Ergebnisse in IT-Lösungen	M1: Detaillierte Vorstellung der Lösungskonzeption bei den beteiligten Dienstleistungsunternehmen des PA	Start Mitte 2023, dann laufend
Maßnahme N: Erweiterung der akademischen Lehre und berufliche Weiterbildung	Permanente Einbindung der Ergebnisse in die Lehre	N1: Bachelor-Lehrveranstaltung an der WHZ N2: Lehrveranstaltung im Master Management an der WHZ N3: Master-Lehrveranstaltung des Maschinenbaus und der Wirtschaftsingenieure an der UniKS N4: Weiterbildungsmasterstudiengang „Industrielles Produktionsmanagement“ der UniKS	Laufend Laufend Laufend 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) ist erfolgt und wird 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 eine über die bisherigen Publikationen und Vorträge hinausgehende Leserschaft. Eine Veröffentlichung auf der ISSL 2024 (Maßnahme H1) ist geplant.

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 Vorgehensmodelle und Funktionsbereiche der dataject-Anwendung nach Projektende der individuellen industriellen Nutzung zuzuführen.

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:

Aktuelles der Fakultät Wirtschaftsinformatik (2021): „dataject.log“ – Ein Forschungsprojekt für die Logistikbranche. Pressemitteilung von Christoph Laroque, Wibke Kusturica am 27.07.2021, Westsächsische Hochschule Zwickau.

Gliem, D.; Jessen, U.; Wenzel, S.; Kusturica, W.; Laroque, C. (2022): Ontology-based Forecast of the Duration of Logistics Processes in One-of-a-Kind Production in SME. Logistics Research 15(2022)5, S. 1-29.

Gliem, D.; Wenzel, S.; Kusturica, W. Laroque, C. (2023): Methodik zur Auswahl von Datenerfassungstechnologien. Projektmanagement-Aktuell 34(2023)4, S. 49-53.

Presseportal Universität Kassel (2021): Forschungsprojekt digitalisiert Logistik für Maschinen- und Anlagenbau. Pressemitteilung von Sebastian Mense am 01.10.2021, Universität Kassel.

Wenzel, S.; Vössing, D.; Gliem, D.; Laroque, C.; Kusturica, W. (2022): Digitalisierung logistischer Prozesse auf der Baustelle. Ein Konzept zum Aufbau und zur Nutzung eines Digitalen Schattens für die Baustellenlogistik im Maschinen- und Anlagenbau. *Industrie 4.0 Management* 38(2022)3, Seite 7-10.

Wenzel, S.; Vössing, D.; Gliem, D.; Laroque, C.; Kusturica, W. (2022): Methodik zur Auswahl von Datenerfassungstechnologien. In: MoWiN.net e.V.: *Mobilitätswirtschaft Nordhessen. MoWiN.net Jahresrückblick 2021*, S. 48.

Bachelor-/Masterarbeiten/Belegarbeiten und Studienprojekte:

Kellner, A. (2022): Entwicklung und Evaluation eines Interoperabilitätskonzepts zur Einbindung eines semantischen Modells für einen Digitalen Schatten von Logistikprozessen im Maschinen- und Anlagenbau in ein ERP-System. Masterarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel.

Konarski, D. (2023): Literaturrecherche zur Untersuchung des aktuellen Verständnisses für einen Digitalen Schatten. Semesterarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel.

Noder, I. (2023): Analyse von Low-Coding-Plattformen hinsichtlich deren Eignung für einen Demonstrator im Maschinen- und Anlagenbau. Diplomarbeit, Westsächsische Hochschule Zwickau, Institut für Management und Information, Zwickau. Erscheint 2023.

Rammo, J.-P. (2022): Entwicklung und Evaluation eines Konzeptmodells zur Konstruktion einer Ontologie für die Darstellung von Logistikprozessen des Maschinen- und Anlagenbaus. Masterarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel.

Rammo, J.-P. (2022): Literaturrecherche zu entwickelten Ontologien für die Logistik und Bewertung ihrer Eignung für Logistikprozesse im Maschinen- und Anlagenbau. Projektarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel.

Rehs, L. (2023): Konzeptionierung einer mobilen Anwendung für die Erfassung von Arbeitszeiten auf der Baustelle des Maschinen- und Anlagenbaus. Semesterarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel.

Reisich, M. (2022): Literaturgestützte Bewertung von Technologien zur (teil-)automatisierten Erfassung von Logistikdaten im Maschinen- und Anlagenbau. Bachelorarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel.

Reisich, M. (2021): Entwicklung eines Technologiekatalogs für die (teil-) automatische Datenerfassung. Semesterarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel.

Rüger, M. (2023): Konzeptentwicklung zur projektübergreifenden Ressourcenverfolgung am Beispiel der baustellenübergreifenden Nachverfolgung von Arbeits(hilfs-)mitteln. Masterarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel. Erscheint 2023.

Wunderlich, D. (2022): Entwicklung und Evaluation einer mobilen Anwendung zur Erfassung von Auftragsbearbeitungszeiten in mittelständischen Unternehmen. Masterarbeit, Westsächsische Hochschule Zwickau, Institut für Management und Information, Zwickau.

7 Fazit und Ausblick

Zum Abschluss dieses Projektes liegen mit dem Vorgehensmodell und dem semantischen Informationsmodell als Digitaler Schatten der Logistikprozesse im Maschinen- und Anlagenbau leistungsfähige Lösungen zur verbesserten Erfüllung der Informationsbedarfe im Rahmen des Projektmanagements vor. Die bessere Verfügbarkeit der Daten und Informationen führt zu einer höheren Transparenz im Rahmen der Projektsteuerung, zudem können die erfassten Daten für die Planung von neuen Projekten herangezogen werden. Das entwickelte Gesamtkonzept, das Vorgehensmodell sowie die entwickelte Ontologie sind in allgemeiner Form beschrieben, veröffentlicht und ermöglichen die individuelle Bewertung hinsichtlich einer Anwendung für interessierte KMU. Ein Demonstrator zeigt die Nutzenpotenziale auf Basis der Implementierung der Ontologie für verschiedene Anwendungsfälle auf.

Beide Forschungsstellen haben ein hohes Interesse, die in dem Projekt gewonnenen Erkenntnisse auch in nachfolgenden Transferprojekten (auch in Kombination mit den beteiligten Dienstleistern) zu konkreten Lösungen zu entwickeln. Die implementierte Demonstrationsplattform bildet hierzu eine valide Diskussionsbasis.

Eine weitere Erkenntnis, die über das dokumentierte Vorhaben hinausgeht, hat sich im Rahmen der gemeinsamen Arbeit mit den Unternehmen im PA herauskristallisiert: Viele der befragten KMU im Maschinen- und Anlagenbau sehen eine zusätzliche Möglichkeit zur weiteren Nutzung der erfassten Daten zur Bewertung der Nachhaltigkeit ihrer Produkte. Zusammen mit weiteren Daten und Informationen über eingesetzte Materialien und die in der Produktion anfallenden Emissionen könnte der entwickelte Digitale Schatten als Grundlage für die Ermittlung eines „Product Carbon Footprints“ dienen, mit dem der individuelle CO₂-Fußabdruck einer Anlage bzw. eines Unikats von der Erstellung bis zur Inbetriebnahme ermittelt werden könnte. Diese Informationen könnten den KMU als Wettbewerbsvorteil erschlossen und zugänglich gemacht werden.

Für die Branche insgesamt ist davon auszugehen, dass sich der Wettbewerb in den kommenden Jahren eher weiter verschärfen dürfte. Damit werden die oben genannten und letztlich auch in diesem Forschungsvorhaben betrachteten Prozesse für die Unternehmen relevanter.

Literaturverzeichnis

- Ackhoff, R. (1989): From Data to Wisdom. In: Ackoff, R. L.: Ackoff's Best. New York: John Wiley & Sons, S. 170-172.
- Aktuelles der Fakultät Wirtschaftsinformatik (2021): „dataject.log“ – Ein Forschungsprojekt für die Logistikbranche. Pressemitteilung von Christoph Laroque, Wibke Kusturica am 27.07.2021, Westsächsische Hochschule Zwickau.
- Anand, N.; Yang, M.; van Duin, J.; Tavasszy, L. (2012): GenCLOn: An ontology for city logistics. *Expert Systems with Applications*, 39(15), S. 11944-11960.
- Arnold, D.; Isermann, H.; Kuhn, A.; Tempelmeier, H.; Furmans, K. (2008): *Handbuch Logistik*, 3. Auflage. Berlin.
- Bartneck, N.; Klaas, V.; Schönherr, H. (2008): *Prozesse optimieren mit RFID und Auto-ID*. Siemens Aktiengesellschaft, Berlin und München.
- Bauer, N.; Blasius, J. (2019): *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Springer Fachmedien. Wiesbaden.
- Bauernhansl, T.; Krüger, J.; Reinhart, G.; Schuh, G. (2016): *WGP-Standpunkt Industrie 4.0*, Darmstadt: Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP).
- Bernhard, J.; Dragan, M.; Wenzel, S. (2007). Bewertung der Informationsgüte in der Informationsgewinnung für die modellgestützte Analyse großer Netze in der Logistik. Technical Report 07006, ISSN 1612-1376, Sonderforschungsbereich 559 "Modellierung großer Netze in der Logistik", Dortmund.
- Boenert, L.; Blömecke, M. (2006): Kostensenkung durch zentrales Logistikmanagement. In: Clausen, U. (Hrsg.): *Baulogistik – Konzepte für eine bessere Ver- und Entsorgung im Bauwesen*, Dortmund: Praxiswissen, S. 29-41.
- Böhm, C. (2008): *Ontology Construction from Phenotype Data*. Diploma Thesis. Humboldt-Universität zu Berlin.
- Borggräfe, M.; Krücken, G.; Wilkesmann, U. (2019): *Wandel und Reform deutscher Universitätsverwaltungen: eine Organigrammanalyse, Organization & public management*. Springer, Wiesbaden.
- Borsutzky, S. (2017): *Entwicklung einer Umgebung zur Datenerfassung, Datenverwaltung und Management biologischer Proben aus medizinwissenschaftlichen Studien*. Hochschule Bonn-Rhein-Sieg.

- Boschert, S.; Rosen, R. (2016): Digital Twin – The Simulation Aspect. In: Hehenberger, P.; Bradley, D. (Hrsg.). Mechatronic Futures: Challenges and Solutions for Mechatronic Systems and their Designers. Springer, S. 59-74, Cham.
- Bruhn, M.; Hadwich, K. (2023): Gestaltung des Wandels im Dienstleistungsmanagement. Springer, Wiesbaden.
- Burggräf, P.; Nowacki, C.; Kamp, S.; Bachmann, F. (2021): Dimensionierung und Strukturierung der Produktion. In: Burggräf, P.; Schuh, G.: Fabrikplanung. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.
- Burghardt, M. (2002): Einführung in Projektmanagement. Definition, Planung, Kontrolle, Abschluss. 4. Überarbeitete Auflage. Publicis KommunikationsAgentur GmbH, GWA Erlangen.
- Busse, J.; Humm, B.; Lübbert, C.; Moelter, F.; Reibold, A.; Rewald, M.; Schlüter, V.; Seiler, B.; Tegtmeier, E.; Zeh, T. (2014): Was bedeutet eigentlich Ontologie? Informatik-Spektrum, 37(4), S. 286-297.
- Demant, C.; Streicher-Abel, B.; Springhoff, A. (2011): Industrielle Bildverarbeitung: wie optische Qualitätskontrolle wirklich funktioniert. 3., aktualisierte Auflage. Springer, Berlin Heidelberg.
- Dengel, A. (2012): Semantische Technologien. Grundlagen – Konzepte – Anwendungen. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- DIN EN 62264-3 (2017): Integration von Unternehmensführungs- und Leitsystemen – Teil 3: Aktivitätsmodelle für das Betriebsmanagement. Beuth Verlag, Berlin.
- Döring, N.; Bortz, J. (2016): Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Springer, Berlin Heidelberg.
- Durak, U.; Schmidt, A.; Pawletta, T. (2014): Ontology for Objective Flight Simulator Fidelity Evaluation. In: Simulation Notes Europe SNE 24(2), 2014, S. 69-78.
- 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 geprüft am 19.12.2023.
- Fink, A. (2020): Conducting research literature reviews: from the internet to paper. Los Angeles.
- Fleisch, E.; Mattern, F. (2005): Das Internet der Dinge: Ubiquitous computing und RFID in der Praxis: Visionen, Technologien, Anwendungen, Handlungsanleitungen. Springer, Berlin Heidelberg.

- Franke, W.; Dangelmaier, W.; Sprenger, C.; Wecker, F. (2006): RFID-Leitfaden für die Logistik: Anwendungsgebiete, Einsatzmöglichkeiten, Integration, Praxisbeispiele, 1. Auflage, Gabler, Wiesbaden.
- Frochte, J. (2018): Maschinelles Lernen. Grundlagen und Algorithmen in Python. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.
- Fumagalli, L.; Pala, S.; Garetti, M.; Negri, E. (2014): Ontology-Based Modeling of Manufacturing and Logistics Systems for a New MES Architecture. Springer, Berlin Heidelberg.
- Furrer, F.J. (2014): Eine kurze Geschichte der Ontologie. Informatik-Spektrum, 37(4), S. 308-317.
- Fuseki (2023): Apache Jena Fuseki.
URL: <https://jena.apache.org/documentation/fuseki2/>. Zuletzt geprüft am 19.12.2023.
- Gabriel, R.; Gluchowski, P.; Pastwa, A. (2009): Data warehouse & data mining. W3L-Verlag.
- Gao, L.; Koh, J.-G.; Bae, S.-Y.; Lee, H.-C.; Choi, H.-H. (2011): A Study on Construction of Domain Ontology in Third-party Logistics. Journal of the Korea Society of Computer and Information, 16(4), S. 235-241.
- Geerts, G.; O'Leary, D. (2013): A supply chain of things: The EAGLET ontology for highly visible supply chains. Decision Support Systems.
- Glaser, J.; Hamann, M.; Kursawe, R. (1997): Drahtlose Datenerfassung - Teil 3, Schluss - Die richtige Wahl bringt bares Geld. In: Logistik heute: das deutsche Logistikmagazin. Huss, München, S. 81-83.
- Gliem, D.; Jessen, U.; Stolipin, J.; Wenzel, S.; Kusturica, W.; Laroque, C. (2019): Schlussbericht zum Projekt SimCast – Simulationsgestützte Prognose der Dauer von Logistikprozessen.
URL: <https://kobra.uni-kassel.de/handle/123456789/11210>. Zuletzt geprüft am 19.12.2023.
- Gliem, D.; Wenzel, S.; Kusturica, W.; Laroque, C. (2023): Methodik zur Auswahl von Datenerfassungstechnologien. Projektmanagement-Aktuell 34(2023), S. 49-53.
- Glöckner, M.; Ludwig, A. (2016): LoSeMa ODP-An Ontology Design Pattern for Logistics Service Maps. International Semantic Web Conference. Kobe, Japan.
- Gómez-Pérez, A. (2004): Ontology Evaluation. In: Staab, S.; Studer, R.: Handbook on Ontologies. International Handbooks on Information Systems. Springer, Berlin Heidelberg.

- Grieves, M.; Vickers, J. (2017): Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behaviour in Complex Systems. In: Kahlen, F.-J.: Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches. Springer, S. 85-113, Cham.
- Grosse, V. (2018): Entwicklung eines Materialfluss-Konzeptes unter Berücksichtigung der geltenden Regularien in der Medizinproduktherstellung. Technische Universität Dortmund.
- 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.
URL: <http://www.eil.utoronto.ca/wp-content/uploads/enterprise-modelling/papers/gruninger-ijcai95.pdf>. Zuletzt geprüft am 19.12.2023.
- Guarino, N. (1997): Some Organizing Principles for a Unified Top-Level Ontology. AAAI Technical Report. Revised Version of a Paper Appeared at AAAI 1997 Spring Symposium on Ontological Engineering, (LADSEB-CNR Int. Rep. 02/97).
- Guckelsberger, U.; Unger, F. (2013): Statistik in der Betriebswirtschaftslehre. Springer, Wiesbaden.
- 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.
- Haarmann, B. (2014): Ontology On Demand: Vollautomatische Ontologieerstellung aus deutschen Texten mithilfe moderner Textmining-Prozesse. Dissertation, Bochum.
- Hamida, S.B.; Richard, M.; Kneib, J.-P. (2019): Towards an Ontology of Sustainable Space Logistics. 8th european conference for aeronautics and space sciences (eucass).
URL: <https://www.eucass.eu/doi/EUCASS2019-1064.pdf>. Zuletzt geprüft am 19.12.2023.
- Hansen, H.R. (1987): Einführung in die betriebliche Datenverarbeitung. 5., neubearbeitete und erweiterte Auflage, UTB Gustav Fischer, Stuttgart.
- Harland, T. (2019): Gestaltung des Digitalen Schattens für Instandhaltungsdienstleistungen im Maschinen- und Anlagenbau. Apprimus-Verlag, Aachen.
- Hausladen, I. (2016): IT-gestützte Logistik: Systeme - Prozesse - Anwendungen. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage, Springer, Wiesbaden.
- Heidmann, R. (2015): Windenergie und Logistik. Losgröße 1: Logistikmanagement im Maschinen- und Anlagenbau mit geringen Losgrößen. Beuth Berlin.

- Heinz, K.; Nusswald, M. (1996): Logistikdaten effizient erfassen: praxisorientierte Auswahl von Methoden. Verlag Praxiswissen, Dortmund.
- Helmus, M. (2009): RFID in der Baulogistik. Forschungsbericht zum Projekt "Integriertes Wertschöpfungsmodell mit RFID in der Bau- und Immobilienwirtschaft". Springer, Wiesbaden.
- Herold, M.; Minor, M. (2019): Ontology-based Transfer Learning in the Airport and Warehouse Logistics Domains.
URL: http://wi.cs.uni-frankfurt.de/webdav/publications/2019_ICCBBR_Herold_Minor.pdf.
Zuletzt geprüft am 19.12.2023.
- Herzog, U.; Paterok, M.; Vogel, C. (1987): Der Einfluss des Wiederholruffeffekts auf die Leistungsgrößen von Verlustsystemen. In: Herzog, U.; Paterok, M.: Messung, Modellierung und Bewertung von Rechensystemen. 4. GI/ITG-Fachtagung, Erlangen. S. 65-78.
- Hippenmeyer, H.; Moosmann, T. (2016): Automatische Identifikation für Industrie 4.0. Springer, Berlin.
- Hitzler, P.; Kröttsch, M.; Rudolph, S.; Sure, Y. (2008): Semantic Web. Grundlagen. Springer, Berlin Heidelberg.
- Hömberg, K.; Hustadt, J.; Jodin, D.; Kochsiek, J. (2007): Basisprozesse für die Modellierung in großen Netzen der Logistik. Sonderforschungsbereich 559: Modellierung großer Netze in der Logistik. Universität Dortmund. Technical Report 07004. Dortmund.
- Homburg, C.; Klarmann, M. (2003): Empirische Controllingforschung – Anmerkungen aus der Perspektive des Marketing. In: Weber, J.; Hirsch, B.: Zur Zukunft der Controllingforschung. Schriften des Center for Controlling & Management (CCM), vol 9. Deutscher Universitätsverlag.
- ISO/IEC 19510 (2013): Information technology. Object Management Group Business Process Model and Notation. British Standards Institution 2013.
- Jonas, C. (2000): Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen.
URL: https://www.mec.ed.tum.de/fileadmin/w00cbp/iwb/Institut/Dissertationen/145_Jonas_a5.pdf.
Zuletzt geprüft am 19.12.2023.
- Kagermann, H.; Helbig, J.; Hellinger, A.; Wahlster, W. (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern; Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0: Forschungsunion.

- Keferstein, C.P.; Marxer, M.; Bach, C. (2018): Fertigungsmesstechnik: alles zu Messunsicherheit, konventioneller Messtechnik und Multisensorik, 9., überarbeitete und erweiterte Auflage. Springer, Wiesbaden.
- Kellner, A. (2022): Entwicklung und Evaluation eines Interoperabilitätskonzepts zur Einbindung eines semantischen Modells für einen Digitalen Schatten von Logistikprozessen im Maschinen- und Anlagenbau in ein ERP-System. Masterarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel.
- Kern, C. (2007): Anwendung von RFID-Systemen: mit 24 Tabellen. Springer, Berlin Heidelberg.
- Knoll, D.; Waldmann, J.; Reinhart, G. (2019): Developing an internal logistics ontology for process mining. *Procedia CIRP*, 79, S. 427-432.
- Kowalski, M.; Zelewski, S.; Bergenrodt, D. (2012): Applying of an Ontology-driven Case-based Reasoning System in Logistics. *International Journal of Computers & Technology*, 3(2), S. 347-350.
- Krcmar, H. (2015): Informationsmanagement. 6. Auflage. Springer, Berlin.
- Kuhn, T. (2017): Digitaler Zwilling. *Informatik Spektrum*, 40(2017)5, S. 440-444.
- Lian, P.; Park, D.-W.; Kwon, H.-C. (2007): Design of Logistics Ontology for Semantic Representing of Situation in Logistics. In: *Second Workshop on Digital Media and its Application in Museum & Heritages*. IEEE.
- Meier, K.J. (2003): Wandlungsfähigkeit von Unternehmen. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*. 98(2003)4. Carl Hanser Verlag, München.
URL: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.3139/104.100627/html>. Zuletzt geprüft am 19.12.2023.
- Morgenschweis, G. (2018): Hydrometrie: Theorie und Praxis der Durchflussmessung in offenen Gerinnen. Springer, Berlin Heidelberg.
- Naumann, M. (2015): Industrie-PC für den Einsatz in staubiger Umgebung.
URL: <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/industrie-pc-fuer-den-einsatz-in-staubiger-umgebung-a-509747/>. Zuletzt geprüft am 19.12.2023.
- Negri, E.; Perotti, S.; Fumagalli, L.; Marchet, G.; Garetti, M. (2017): Modelling internal logistics systems through ontologies. *Computers in Industry*, 88, S. 19-34.

- Noder, I. (2023): Analyse von Low-Coding-Plattformen hinsichtlich deren Eignung für einen Demonstrator im Maschinen- und Anlagenbau. Diplomarbeit, Westsächsische Hochschule Zwickau, Institut für Management und Information, Zwickau. Erscheint 2023.
- Osterhage, W.W. (2018): Sicherheitskonzepte in der mobilen Kommunikation: Drahtlose Kommunikation – Protokolle und Gefahren. Springer, Berlin.
- Pickert G. (2016): Einführung in Ontologien. TU Berlin; 2016.
URL: <https://docplayer.org/4297013-Einfuehrung-in-ontologien.html>. Zuletzt geprüft am 19.12.2023.
- Poenicke, O.; Groneberg, M.; Richter, K. (2019): Method for the planning of IoT use cases in Smart Logistics Zones, IFAC-PapersOnLine, 52(2019)13, S. 2449-2454.
- Presseportal Universität Kassel (2021): Forschungsprojekt digitalisiert Logistik für Maschinen- und Anlagenbau. Pressemitteilung von Sebastian Mense am 01.10.2021, Universität Kassel.
- Protégé (2023): Protégé - A free, open-source ontology editor and framework for building intelligent systems.
URL: <https://Protégé.stanford.edu/>. Zuletzt geprüft am 19.12.2023.
- Rammo, J.-P. (2022): Entwicklung und Evaluation eines Konzeptmodells zur Konstruktion einer Ontologie für die Darstellung von Logistikprozessen des Maschinen- und Anlagenbaus. Masterarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel.
- Rehs, L. (2023): Konzeptionierung einer mobilen Anwendung für die Erfassung von Arbeitszeiten auf der Baustelle des Maschinen- und Anlagenbaus. Semesterarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel.
- Reisich, M. (2021): Entwicklung eines Technologiekatalogs für die (teil-) automatische Datenerfassung. Semesterarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel.
- Reisich, M. (2022): Literaturgestützte Bewertung von Technologien zur (teil-)automatisierten Erfassung von Logistikdaten im Maschinen- und Anlagenbau. Bachelorarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel.

- Richter, J.; Wandrey, C.; Scheper, T.; Solle, D.; Beutel, S. (2023): Digitale Zwillinge in der Bioprozesstechnik – Chancen und Möglichkeiten. In: Chemie Ingenieur Technik. Volume 95, Issue 4: Prof. Dr.-Ing. Christian Wandrey zum 80. Geburtstag gewidmet. 2023, S. 498-510.
URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/cite.202200166>. Zuletzt geprüft am 19.12.2023.
- Rowley, J. (2007): The wisdom hierarchy: representations of the DIKW hierarchy. *Journal of Information Science*, 33(2), 163-180.
- Rüger, M. (2023): Konzeptentwicklung zur projektübergreifenden Ressourcenverfolgung am Beispiel der baustellenübergreifenden Nachverfolgung von Arbeits(-hilfs)mitteln. Masterarbeit, Universität Kassel, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Kassel. Erscheint 2023.
- Runkler, T. A. (2010): *Data Mining: Methoden und Algorithmen intelligenter Datenanalyse*. Deutschland: Vieweg+Teubner Verlag.
- Rupp, C. (2014): *Requirements-Engineering und -Management. Aus der Praxis - von klassisch bis agil*. 6. Auflage. Carl Hanser Verlag München.
- Sassenberg, T.; Mantz, R. (2014): *WLAN und Recht: Aufbau und Betrieb von Internet- Hotspots*. Schmidt, Berlin.
- Sauter, M., (2018): *Grundkurs mobile Kommunikationssysteme: LTE-Advanced Pro, UMTS, HSPA, GSM, GPRS, Wireless LAN und Bluetooth*, 7. Auflage. Springer, Wiesbaden.
- Schelewsky, M.; Jonuschat, H.; Bock, B.; Stephan, K. (2014): *Smartphones unterstützen die Mobilitätsforschung: neue Einblicke in das Mobilitätsverhalten durch Wege-Tracking*. Springer, Wiesbaden.
- Schoepflin, D.; Koch, J.; Gomse, M.; Schüppstuhl, T. (2021): Smart Material Delivery Unit for the Production Supplying Logistics of Aircraft, *Procedia Manufacturing*, 55(2021), S. 455-462.
- Schuh, G.; Häfner, C.; Hopmann, C.; Rumpe, B.; Brockmann, M.; Wortmann, A.; Maibaum, J.; Dalibor, M.; Bibow, P.; Sapel, P.; Kröger, M. (2020): Effizientere Produktion mit Digitalen Schatten. In: *ZWF, Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*. Carl Hanser Verlag, München. Jahrgang 115, special, S. 105-107.
- Schuh, G.; Hering, N.; Brunner, A. (2013): Einführung in das Logistikmanagement. In: Schuh, G.; Stich, V.: *Logistikmanagement. Handbuch Produktion und Management* 6. 2. Auflage. Berlin.

- Schuh, G.; Stich, V.; Kompa, S. (2013a): Distributionslogistik. In Logistikmanagement, hg. v. Günther Schuh und Volker Stich, S. 115-63. Springer, Berlin Heidelberg.
- Schuh, G.; Walendzik, P.; Luckert, M.; Birkmeier, M.; Weber, A.; Blum, M. (2016): Keine Industrie 4.0 ohne den Digitalen Schatten. In: ZWF, Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Carl Hanser Verlag, Munich, 111(2016)11, S. 745-748.
- Schulte, C. (2008): Logistik: Wege zur Optimierung der Supply Chain. Vahlen, München.
- Seyffert, S. (2011): Optimierungspotenziale im Lebenszyklus eines Gebäudes: Entwicklung und Nachweis eines Modells zur Anwendung der Radio-Frequenz-Identifikation im Bauwesen. Vieweg +Teubner, Wiesbaden.
- Soffer, P.; Hinze, A.; Koschmider, A.; Ziekow, H.; Di Ciccio, C.; Koldehofe, B.; Kopp, O.; Jacobsen, H.; Sürmeli, J.; Song, W. (2019): From Event Streams to Process Models and Back: Challenges and Opportunities. Information Systems.
- Staab, S.; Studer, R. (2009): Handbook on Ontologies. Springer, Berlin Heidelberg.
- Stengel, D. (2006): Wundklassifikation und Bewertungskriterien.
URL: http://www.antibiotikamonitor.at/06_45/pdf/06_45_02b.pdf. Zuletzt geprüft am 19.12.2023.
- Stich, V.; Hering, N. (2015): Daten und Software als entscheidender Wettbewerbsfaktor. In: industrie 4.0 magazin – Zeitschrift für integrierte Produktionssysteme, S. 8-13.
- Stolipin, J.; Jessen, U.; Wenzel, S.; Weber, J.; König, M. (2020): Schlussbericht zum Projekt BIM-Log – BIM-basierte Logistikplanung und -steuerung im Großanlagenbau.
- Straßner, T.; Axmann, B. (2021): Analyse und Bewertung von KI-Anwendungen in der Logistik.
URL: https://www.logistics-journal.de/not-reviewed/2021/08/5358/strasser_2021.pdf. Zuletzt geprüft am 19.12.2023.
- Stuckenschmidt, H. (2011): Ontologien. Konzepte, Technologien, Anwendungen. 2. Auflage. Springer, Berlin Heidelberg.
- Stuckenschmidt, Heiner (2009): Ontologien. Springer, Berlin Heidelberg.

- Suárez-Figueroa, M.C.; Gómez-Pérez, A.; Villazón-Terrazas, B. (2009): How to Write and Use the Ontology Requirements Specification Document. In Hutchison, D.; Kanade, T.; Kittler, J.; Kleinberg, J.M.; Mattern, F.; Mitchell, J.C.; Naor, M.; Nierstrasz, O.; Pandu Rangan, C.; Steffen, B.; Sudan, M.; Terzopoulos, D. Tygar, D.; Vardi, M.Y.; Weikum, G.; Meersman, R.; Dillon, T.; Herrero, P. (Hrsg.), Lecture Notes in Computer Science. On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2009 (Bd. 5871, S. 966–982). Springer, Berlin Heidelberg.
- ten Hompel, M.; Büchter, H.; Franzke, U. (2008): Identifikationssysteme und Automatisierung. Springer, Berlin Heidelberg.
- Textor, A. (2017): Verknüpfung von Domänenwissen für ein Ontologie-basiertes IT-Management.
URL: <https://kobra.uni-kassel.de/handle/123456789/2018051455498>. Zuletzt geprüft am 19.12.2023.
- Ungureanu, N. S.; Petrovan, A.; Ungureanu, M. (2019): Contributions to the Development of an Ontology in Logistics of Manufacturing. In: Advances in Manufacturing Engineering and Materials: Springer, Cham, S. 299-306.
URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-99353-9_32. Zuletzt geprüft am 19.12.2023.
- Uschold, M.; Grüninger, M. (1996): Ontologies: Principles, Methods and Applications.
URL: <https://www.aiai.ed.ac.uk/project/pub/documents/1996/96-ker-intro-ontologies.pdf>.
Zuletzt geprüft am 19.12.2023.
- Versteegen, G. (2002): Vorgehensmodelle. In: Versteegen, G.: Software Management. Xpert.press. Springer, Berlin, Heidelberg.
- W3C-OWL (2012): OWL 2 Web Ontology Language Document Overview (Second Edition)
URL: <https://www.w3.org/TR/owl2-overview/>. Zuletzt geprüft am 19.12.2023.
- W3C-RDFS (2014): RDF Schema 1.1.
URL: <https://www.w3.org/TR/rdf-schema/>. Zuletzt geprüft am 19.12.2023.
- W3C-SPARQL (2013): SPARQL 1.1 Update.
URL: <https://www.w3.org/TR/sparql11-update>. Zuletzt geprüft am 19.12.2023.
- Warschat, J.; Schimpf, S.; Korell, M. (2015): Technologien frühzeitig erkennen, Nutzenpotenziale systematisch bewerten. Methoden, Organisation, semantische Werkzeuge zur Informationsgewinnung und -speicherung. Ergebnisse des Verbundforschungsprojektes syncTech - synchronisierte Technologieadaption als Treiber der strategischen Produktinnovation. Fraunhofer-Verlag, Stuttgart.

- Wenzel, S. (Hrsg.) (2000): Referenzmodelle für die Simulation in Produktion und Logistik. Delft: Society for Computer Simulation International.
- Wenzel, S.; Stolipin, J.; Weber, J.; König, M. (2019): Digitale Planung der Baustellenlogistik im Großanlagenbau. Ontologie zur Nutzung digitaler Modelle für die Logistikplanung auf der Baustelle. In: Industrie 4.0 Management 3(2019)6, S. 55-59.
- Wenzel, S.; Vössing, D.; Gliem, D.; Laroque, C.; Kusturica, W. (2022a): Methodik zur Auswahl von Datenerfassungstechnologien. In: MoWiN.net e.V.: Mobilitätswirtschaft Nordhessen. MoWiN.net Jahresrückblick 2021, S. 48.
- Wenzel, S.; Vössing, D.; Gliem, D.; Laroque, C.; Kusturica, W. (2022b): Digitalisierung logistischer Prozesse auf der Baustelle. Ein Konzept zum Aufbau und zur Nutzung eines Digitalen Schattens für die Baustellenlogistik im Maschinen- und Anlagenbau. Industrie 4.0 Management 38(2022)3, S. 7-10.
- Westkämper, E. (2006): Einführung in die Organisation der Produktion. Springer, Berlin.
- Wölker, M. (2004): Automatische Identifikation und Datenerfassung. In: ten Hompel, M.; Büchter, H.; Franzke, U.: Identifikationssysteme und Automatisierung. Springer, Berlin Heidelberg.
- Wulfsberg, J. P., Loitz, H. & Derfling, D. (2005): Kraftgeregeltes Rollfalzen. Hamburg.
URL: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.3139/104.100876/html>. Zuletzt geprüft am 19.12.2023.
- Zelewski, S.; Kowalski, M. (2013a): "Intelligent" Knowledge Reuse for Complex Logistics Projects: An Application of Ontology-Driven and Case-Based Reasoning. In: Journal of Control Science and Engineering 1(2013) S. 23-37.
URL: <http://www.davidpublisher.com/public/uploads/contribute/550a93afcb757.pdf>. Zuletzt geprüft am 19.12.2023.
- Zilch, K; Diederichs, C.J.; Katzenbach, R.; Beckmann, K.J. (2013): Grundlagen des Bauingenieurwesens. Springer, Berlin.

Anhang

Anhang A: Projektbegleitender Ausschuss

Anhang B: Logistische Basisprozesse

Anhang C: Logistische Referenzprozesse

Anhang D: Spezifikation von Logistikprozessen

Anhang E: Technologiekatalog

Anhang F: Kriterienkatalog

Anhang G: Online-Fragebogen Delphi-Studie

Anhang H: Kriterienkatalog mit Ausprägungen

Anhang I: Technologiematrix (Auszug)

Anhang J: Technologieketten

Anhang K: Anforderungsspezifikationsdokument (Ontologie)

Anhang L: Evaluationsbogen Methodik und Ontologiekonzept

Anhang M: Anforderungen als User-Stories

Anhang N: Sequenzdiagramme

Anhang O: Mockup

Anhang P: Evaluationsbogen Demonstrationsplattform

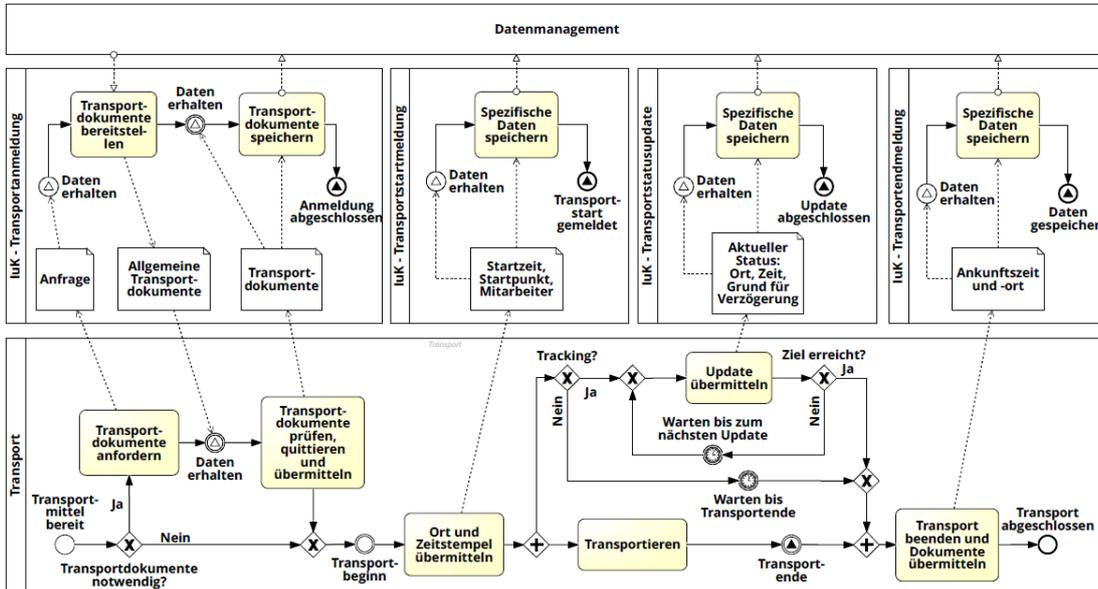
Anhang Q: Evaluationsbogen Projektevaluation

Anhang A: Projektbegleitender Ausschuss

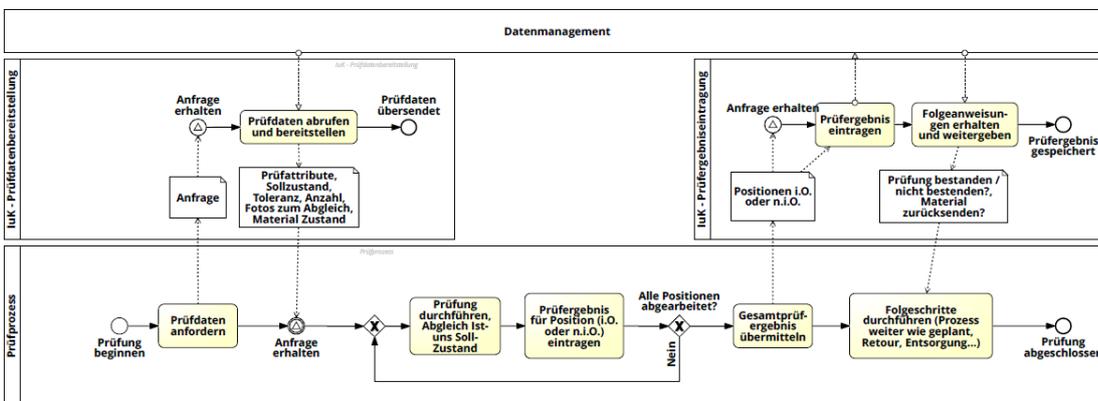
ams.solutions AG Rathausstraße 41564 Kaarst https://www.ams-erp.com	
OKEL GmbH & Co. KG Wendeweg 5 34474 Diemelstadt https://www.okel.de	
TransMit Gesellschaft für Technologietransfer mbH Kerkrader Straße 3 35394 Gießen https://www.transmit.de	
m2m Germany GmbH Am Kappengraben 18 61273 Wehrheim https://www.m2mgermany.de	
Hahn Projects GmbH Querallee 38 34119 Kassel https://hahnpro.com	
BEUMER Group GmbH & Co. KG Oelder Str. 40 59269 Beckum https://www.beumergroup.com/de	
CONTACT Software GmbH Wiener Straße 1-3 28359 Bremen https://www.contact-software.com/de	
io-consultants GmbH & Co. KG Freie-Vogel-Str. 391 44269 Dortmund https://www.io-group.com/de	
SimPlan AG Sophie-Scholl-Platz 6 63452 Hanau www.simplan.de	
Venjakob Maschinenbau GmbH & Co. KG Augsburger Straße 2-6 33378 Rheda-Wiedenbrück www.venjakob.de	
OWL Maschinenbau e.V. Ritterstraße 19 33602 Bielefeld www.owl-maschinenbau.de	
Zukunftsallianz Maschinenbau e.V. Messegelände / P 36 Robotation Academy 30521 Hannover www.zukunftsallianz-maschinenbau.de	

Anhang B: Logistische Basisprozesse

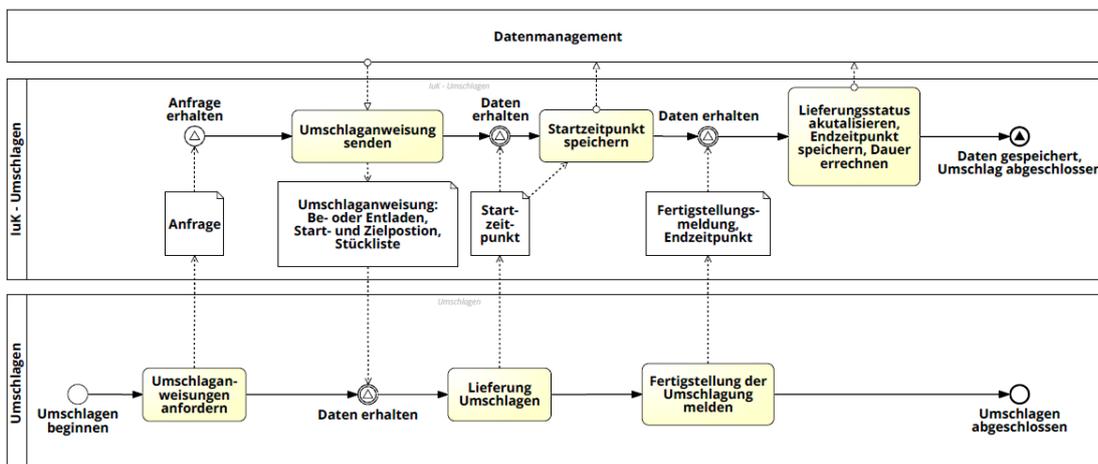
01_Transport



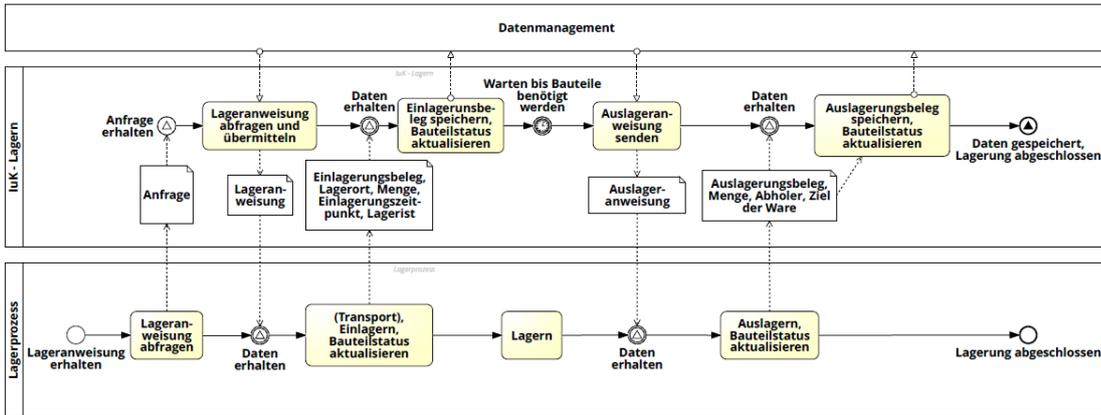
02_Prüfen



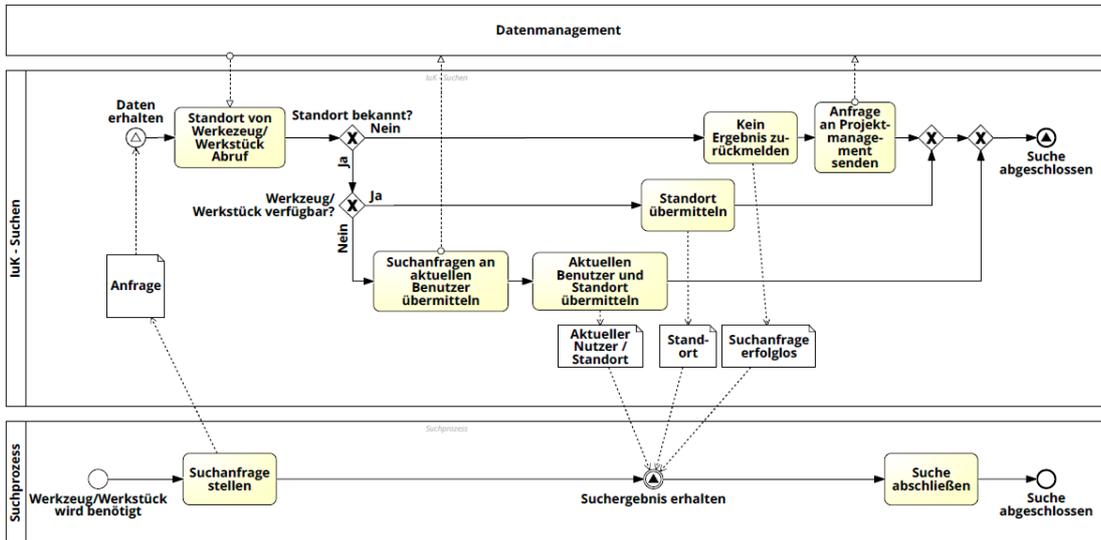
03_Umschlagen



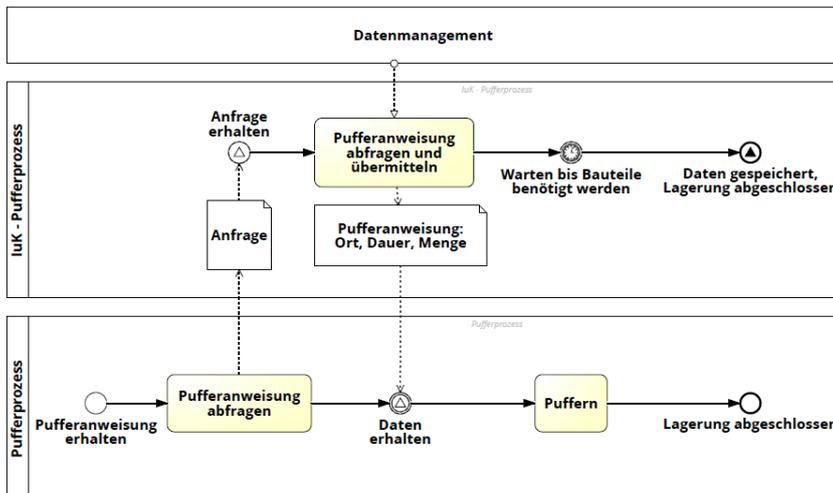
04_Lagern



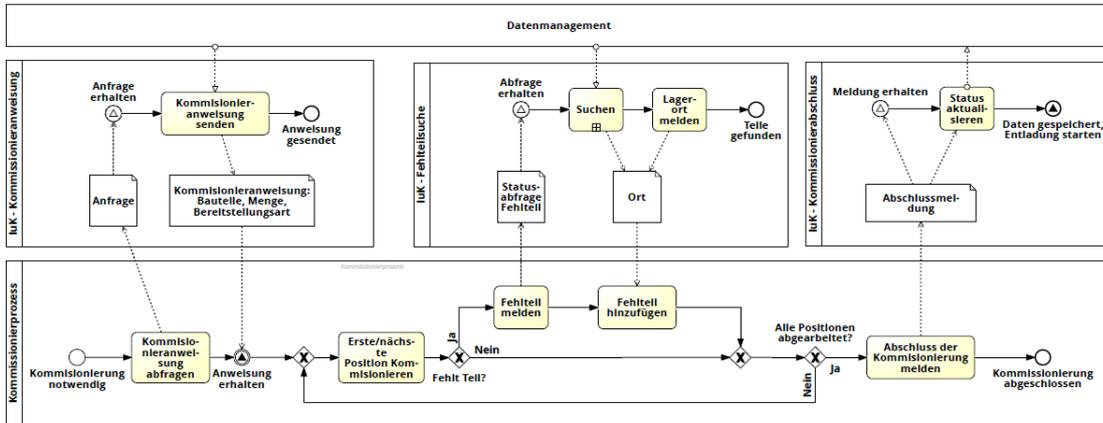
05_Suchen (Kopie)



07_Puffern

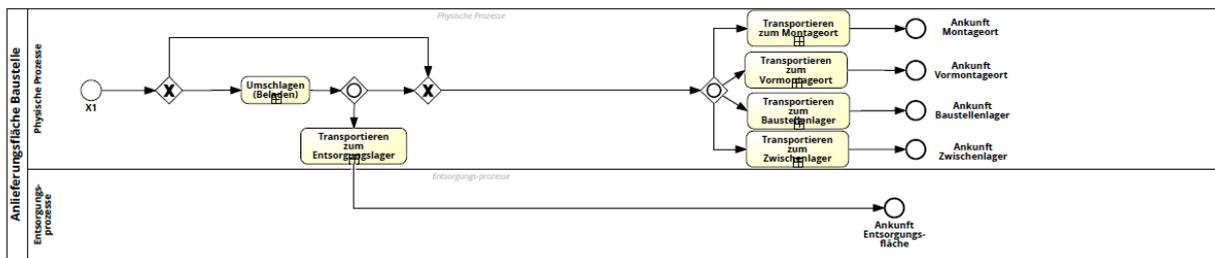
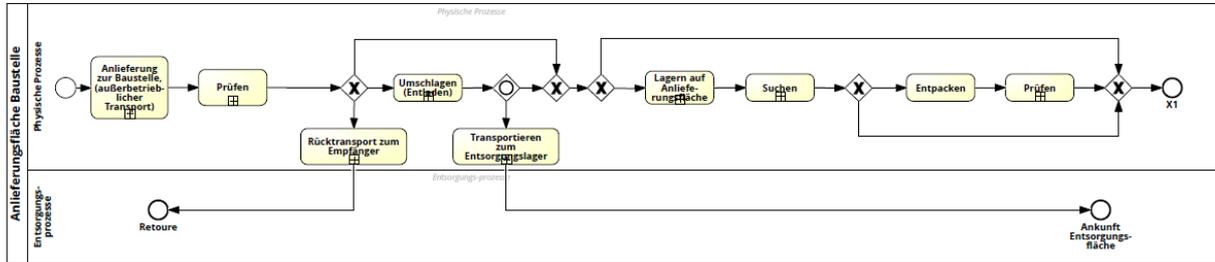


08_Kommissionieren

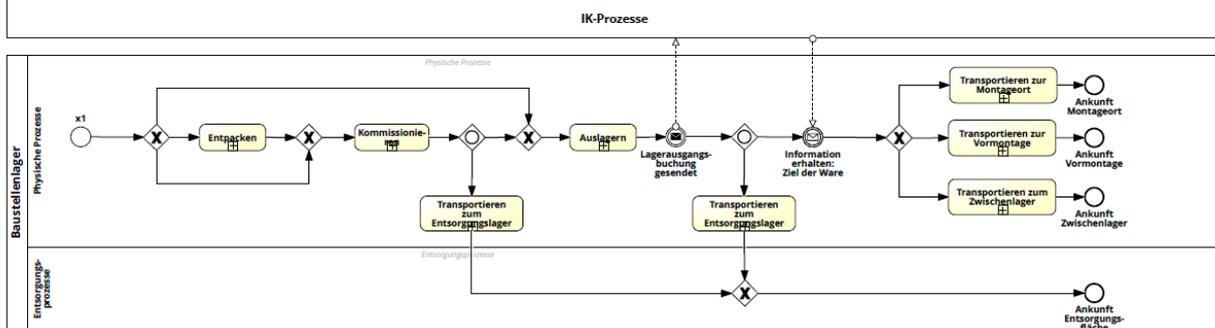
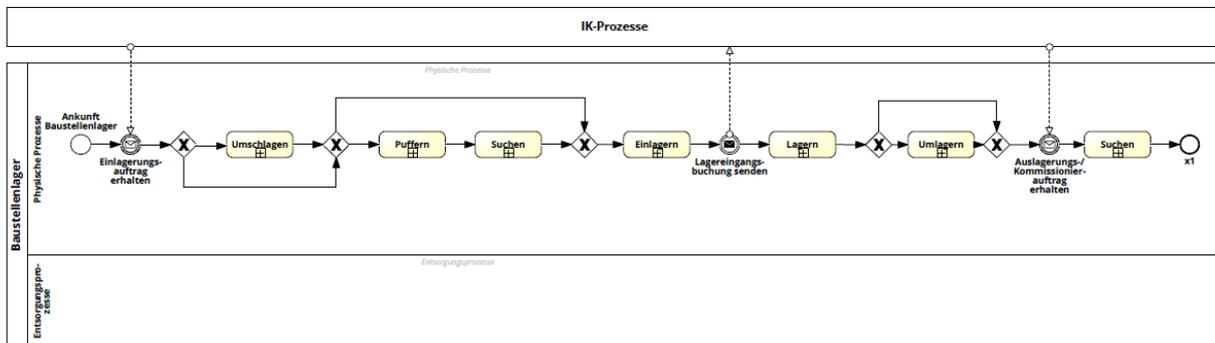


Anhang C: Logistische Referenzprozesse

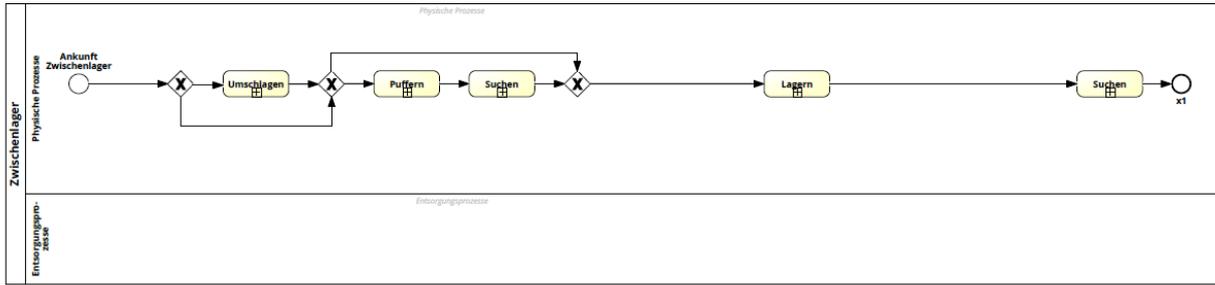
1 Anlieferungsfläche



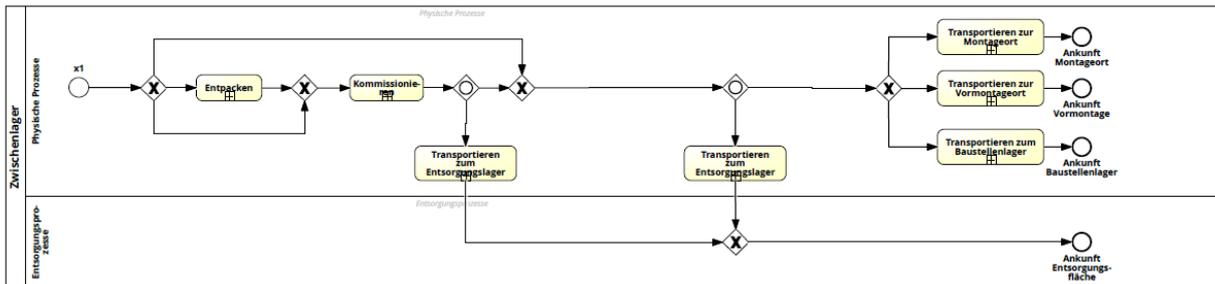
2 Baustellenlager



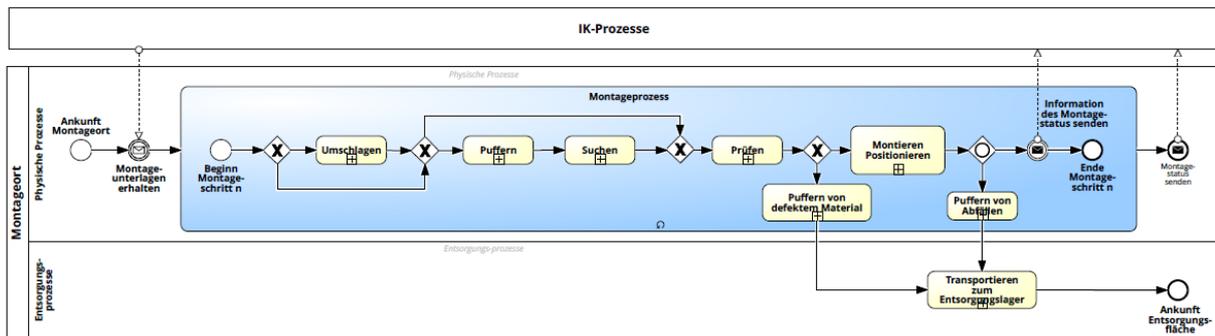
3 Zwischenlager



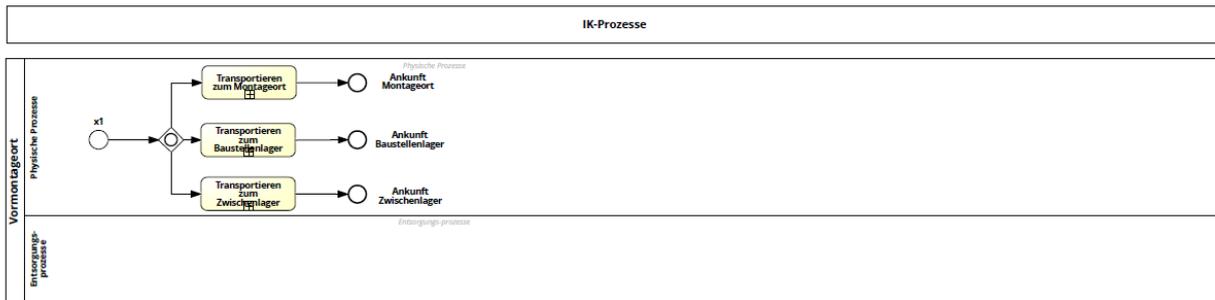
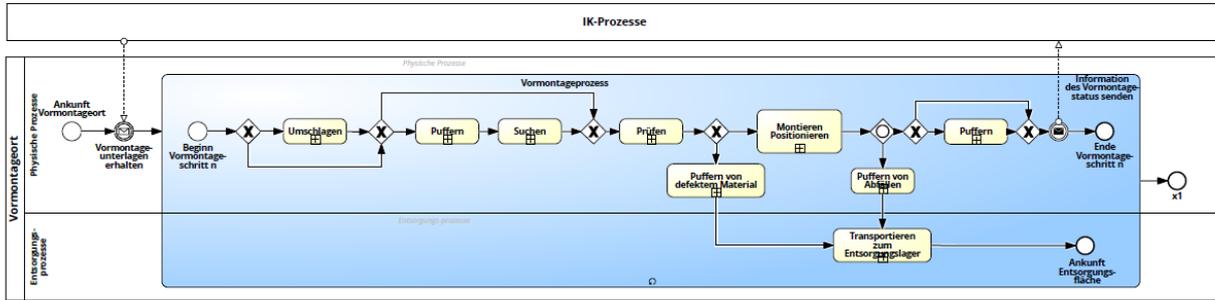
IK-Prozesse



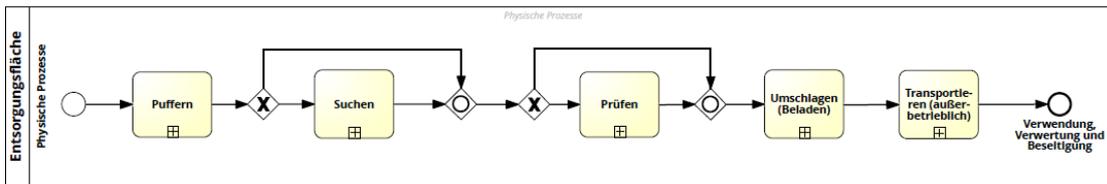
4 Montage



5 Vormontage



6 Entsorgung und Rückführung



Anhang D: Spezifikation von Logistikprozessen

Spezifikation des logistischen Basisprozesses „innerbetrieblicher Transport“

Informationen	Daten	Einheiten
Datum und Ort der Warenübernahme	Datum	
	Ort	
Zeitstempel aktueller Ort und Datum (Tracking)	Datum	
	Ort	
Datum und Ort der Warenablieferung	Datum	
	Ort	
Art der Verpackung	Text	
Anzahl, Zeichen und Nummern der Frachtstücke	Menge	Stk
	Text	
das Rohgewicht oder die anders angegebene Menge des Gutes	Gewicht	kg
Arbeitsmittel	Art	
	Kennzeichen	
Arbeitshilfsmittel	Art	
Name des Transportierenden	Name	

Spezifikation des logistischen Basisprozesses „Umschlagen“

Informationen	Daten	Einheiten
Name Lademittel/ Arbeitsmittel	Text	
ID Lademittel/ Arbeitsmittel	Text	
Maximallast Lademittel/ Arbeitsmittel	Wert	kg, t
Achslast Lademittel/ Arbeitsmittel	Wert	kg, t
Geschwindigkeit Lademittel/ Arbeitsmittel	Wert	km/h, m/s
erreichbare Höhe Lademittel/ Arbeitsmittel	Wert	m, cm
Abmessungen Transformationsobjekt	Wert	m, cm
Gewicht Transformationsobjekt	Gewicht	kg, t
Aggregatzustand Transformationsobjekt	Text	
Beladeposition (LKW)	Datum	
	Ort	
Entladeposition	Datum	
	Ort	
Ladungssicherung	Text	
Nutzung AM: Instandhaltung	Text	
Weisungsbefugnisse	Text	
Nachweise (Fahrausweis für Flurförderfahrzeuge)	Staplerschein	
	Kranschein	
Schutzausrüstung notwendig?	Checkbox	
Sichtkontrolle des AM durch Verantwortlichen	Checkbox	
Unterweisung bei Ladebrücken/ Ladeblechen:	Text	
Tragfähigkeit des Untergrunds	Text	
Fahrradius/ Schwenkradius	Wert	
MA	Name	
	ID	

Spezifikation des logistischen Basisprozesses „Lagern“

Informationen	Daten	Einheiten
Lagerliste (Stückliste)	Text	
Lagerort	Ort	
Lagermenge	Menge	
Einlagerungszeitpunkt	Datum	
Lagerist	Name	
Quittierung	Text	
Lagerliste (Stückliste)	Text	
Lagerort	Ort	
Lagermenge	Menge	
Einlagerungszeitpunkt	Datum	
Lagerist	Name	
Quittierung	Text	

Spezifikation des logistischen Basisprozesses „Puffern“

Informationen	Daten	Einheiten
Pufferliste (Stückliste)	Text	
Ort	Ort	
Menge	Menge	
Dauer	Zeitangabe	
Startzeitpunkt	Datum	
Mitarbeiter	Name	

Spezifikation des logistischen Basisprozesses „Kommissionieren“

Informationen	Daten	Einheiten
Positionen/Auftrag	Anzahl	
Terminierung der Aufträge	Text	
Anzahl Picks (Zugriffe)	Menge	
Kommissionierer	Name	
Ort und Datum Übergabe Kommissionierauftrag	Datum	
	Ort	
Ort und Datum Quittierung	Datum	
	Ort	
Quittierung (Teilauftrag, je Position, alle Positionen, etc)	Text	
Anzahl der Entnahmeeinheit pro Ladeeinheit	Menge	
Lagerplatz	Name	
Name des Artikels	Text	
Gewicht des Artikels	Gewicht	kg
Oberfläche des Artikels	Text	
Charge des Artikels	Text	
Verfallbarkeit des Artikels	Datum	
Gefahrgut des Artikels	Text	
Abmessungen der Entnahmeeinheit	Länge	m
	Breite	m
	Höhe	m
Gewicht der Entnahmeeinheit	Gewicht	kg
Arbeitsmittel	Art	
	Kennzeichen	
Arbeitshilfsmittel	Art	
Kommissionierprinzip	Text	
Weitergabe (mit/ohne Beleg, ...)	Text	
Informationsweitergabe	Text	

Spezifikation des logistischen Basisprozesses „Suchen“

Informationen	Daten	Einheiten
Suchobjekt: Transformationsobjekt	Text	
Suchobjekt: Arbeitshilfsmittel	Art	
Suchobjekt: Arbeitsmittel	Art	
Menge	Menge	
Standort	Ort	
Aktueller Nutzer	Name	
Erfolglose Suchanfrage	Text	
Lager	Ort	
Puffer	Ort	

Spezifikation des logistischen Basisprozesses „Prüfen“

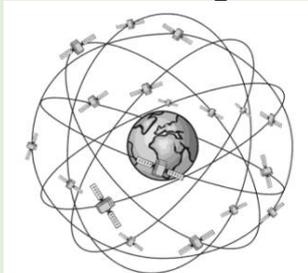
Informationen	Daten	Einheiten
Prüfliste (Stückliste)	Text	
Menge	Menge	
Sollzustand	Text	
Toleranz	Text	
Prüfliste (Stückliste)	Text	
i.O.	True/False	
Ist-Zustand	Text	
Dokumentation (Bilder)	Bilder	

Anhang E: Technologiekatalog (Auszug)

Identifikationstechnologie (Reisich 2021):

Name: QR-Code	Abbildung: 
Beschreibung: Der zweidimensionale Code ist ein quadratischer Code, der in drei Ecken verteilte und ineinander verschachtelte Quadrate besitzt, die als Suchelemente fungieren.	
Vorteil: <ul style="list-style-type: none"> •Der Code kann mit Hilfe der Fehlerkorrektur auch noch bei einer zerstörten Datenfläche von 30% verwendet werden •Geringe Kosten •Standardisierte Leseeinheiten •Breite Anwendungsmöglichkeiten 	Nachteil: <ul style="list-style-type: none"> •Datentransfer erfordert unmittelbaren visuellen Kontakt zwischen Leseinheit und dem mittels Barcode gekennzeichneten Objekt •Datenspeicherungsvolumen ist begrenzt •Die Lesbarkeit wird durch Nässe oder Schmutz erschwert •Pro Zeiteinheit kann nur jeweils ein Barcode gelesen/verarbeitet werden
Einsatzgebiete: <ul style="list-style-type: none"> • Einsatzgebiete liegen beispielsweise in der Logistik oder Gastronomie 	

Erfassungstechnologie (Reisich 2021):

Name: GPS	Abbildung:  <small>Bildquelle: Zilch et al. (2013, S. 81)</small>
Beschreibung: Das GPS (Global Positioning System) umfasst ein weltweites Satellitenorientierungssystem. Bei einer Höhe von 20200 km über der Erdoberfläche bewegen sich auf sechs polaren Orbits insgesamt mindestens 21 Satelliten und drei Reservesatelliten, die jederzeit sowie an allen Orten die benötigte Anzahl von vier Satelliten mit einer Navigationsfunktion zur Verfügung stellen.	
Vorteil: <ul style="list-style-type: none"> •Überwachung aus größerer Entfernung möglich •Auf die Signale kann uneingeschränkt zugegriffen werden 	Nachteil: <ul style="list-style-type: none"> •Bei Untergrundsituationen können die Signale beeinträchtigt werden •Fehler bei Aktualisierungsvorgängen können auftreten
Einsatzgebiete: <ul style="list-style-type: none"> • Verwendung findet die Navigation zu Lande, auf dem Meer und in der Luft. Diese wird jedoch auch für die Landvermessung, Kartographie, Fahrzeugortung, Landwirtschaft, Transportsysteme, Archäologie oder Fischerei verwendet 	

Übertragungstechnologie (Reisich 2021):

<p>Name: LTE</p>	<p style="text-align: center;">Abbildung:</p> <p style="text-align: center;">Bildquelle: Grosse (2018, S. 35)</p>
<p>Beschreibung: Unter dem Long Term Evolution-Netz (LTE) wird ein Mobilfunknetz der vierten Generation verstanden. Mit dieser Technologie besteht die Möglichkeit, die breitbandigen Mobilfunkverbindungen zu erhöhen und Systeme zu vereinfachen, indem der Transfer der Sprache mit Hilfe eines IP-basierten Datendienst abläuft.</p>	
<p>Vorteil:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Hohe Datenübertragungsraten •Verbesserte mobile Telefonie 	<p>Nachteil:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Keine uneingeschränkte Verfügbarkeit •Empfangsprobleme
<p>Einsatzgebiete:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Internet- und Telefonanschluss • Businessapplikationen • Gesundheitssektor 	

Der vollständige Technologiecatalog ist abrufbar unter folgendem Link:

<https://www.uni-kassel.de/forschung/datajectlog/publikationen-und-vortraege>

Anhang F: Kriterienkatalog

Allgemeine Kriterien (Reisich 2022):

ID	Kriterium	Definition
K01	Form und Maße	Physische Gestalt der Technologie (Größe/ Volumen)
K02	Gewicht	Gewicht der Technologie
K03	Handhabung	Ergonomische Gestaltung der Technologie
K04	Oberflächenbeschaffenheit	Beschaffenheit des Gehäusematerials der Technologie
K05	Verfügbarkeit	Wahrscheinlichkeit, die Technologien zu einem vorgegebenen Zeitpunkt in einem funktionsfähigen Zustand vorzufinden
K06	Fehlerrate	Verhältnis aus fehlerhaften Daten zur Gesamtdatenmenge
K07	Integrierbarkeit in IT-Landschaft	Grad der Kompatibilität mit bestehenden IT-Lösungen und IT-Systemen
K08	Adaptierbarkeit	Anpassbarkeit der Technologie an neue Anforderungen
K09	Akzeptanz	Grad der Akzeptanz einer Technologie im Markt, in der Gesellschaft, im Unternehmen und bei den Mitarbeitenden
K10	Automatisierungsgrad	Quotient aus der Summe der automatischen Vorgänge zur Summe der automatisierbaren Vorgänge
K11	Entwicklungsperspektive	Möglichkeit der zukünftigen Weiterentwicklung der Technologie
K12	Ersetzbarkeit	Austauschbarkeit einer Technologie durch eine andere, ggf. höherwertige Technologie
K13	Innovationsgrad	Neuartigkeit der Technologie
K14	Interoperabilität	Fähigkeit einer Technologie, mit unterschiedlichen Systemen und Technologien zusammenzuarbeiten
K15	Markt- bzw. Branchenüblichkeit	Verbreitung der Technologie am Markt sowie in anderen Unternehmen der eigenen Branche
K16	Nachhaltigkeit	Einsatz energieeffizienter Technologien aus ökologischen Materialien
K17	Referenz/Erfahrung	Einsatz einer Technologie, die bereits im eigenen Unternehmen an anderer Stelle verwendet wird/wurde
K18	Prozesssicherheit	Häufigkeit, mit der der Einsatz der Technologie zum gewünschten Ergebnis führt
K19	Zertifizierung	Durch eine unparteiische Stelle festgelegte Anforderungen an eine bestimmte Technologie
K20	Bedienbarkeit	Auslegung der Technologie für die Nutzung durch den Menschen
K21	Elektromagnetische Strahlung	Unerwünschte Wechselwirkungen verschiedener elektrischer Geräte aufgrund der abgestrahlten (Störaussendungen) sowie der empfangenen (Störeffektivität)
K22	Geräuschpegel	Von der Technologie emittierte Lautstärke
K23	Lichtverhältnisse	Beleuchtungsstärke zur Identifikation und Erfassung von Daten
K24	Temperatur	Thermische Belastung (warm/kalt) der eine Technologie ausgesetzt werden kann
K25	Verschmutzung	Mechanische Belastung, der eine Technologie ausgesetzt werden kann
K26	Wasserfestigkeit	Verhindern des Eindringens von Wasser und dadurch entstehende Schäden (z.B. durch Niederschlag oder Luftfeuchtigkeit)
K27	Investitionskosten	Bei der Anschaffung einer Technologie anfallende Kosten
K28	Betriebskosten	Beim Einsatz der Technologie anfallende Kosten
K29	Nutzungsdauer	Betriebliche Verwendungsdauer einer Technologie
K30	Auslastungsgrad	Verhältnis der aktuellen Anzahl an Datenerfassungs- oder Datenübertragungsvorgängen zu der maximal möglichen Anzahl an Erfassungs- oder Übertragungsvorgängen der Technologie
K31	Netzwerkanbindung	Physische und logische Anbindung an eine IT-Infrastruktur
K32	Standardisierung	Nutzung von standardisierten Protokollen für die Daten
K33	Häufigkeit der Datenerfassung	Anzahl der Aktualisierungen in einem Zeitabschnitt
K34	Datenformat	Art der Strukturierung und Darstellung der Daten

ID	Kriterium	Definition
K35	Genauigkeit	Maß, in dem die erfassten Daten die Eigenschaften in der realen Welt abbilden
K36	Vollständigkeit	Ausreichendes Vorhandensein von Daten
K37	Vertrauenswürdigkeit der Datenquelle	Schutz der Datenquelle vor Zugriff Dritter
K38	Korrektheit	Inhaltlich richtige Wiedergabe des real verfügbaren Informationsangebots
K39	Relevanz	Maß, in dem aus den Daten die notwendigen Informationen für die Nutzung abgeleitet werden können
K40	Rückverfolgbarkeit	Maß für die Rekonstruktion des Prozesses der Informationsidentifikation/-erfassung/-übertragung bzgl. möglicher Einflussfaktoren, Restriktionen, beteiligter Personen oder auch Institutionen und deren Bewertbarkeit

Kriterien zur Auswahl von Identifikationstechnologien (Reisich 2022):

ID	Kriterium	Definition
K41	Änderbarkeit	Modifizierbarkeit der auf dem Identifikationsmedium gespeicherten Daten
K42	Speicherplatz	Verfügbare Kapazität des Mediums
K43	Zugänglichkeit	Zeitlicher Aufwand, mit dem die Daten identifiziert, lokalisiert und erhoben werden können
K44	Granularität	Für die Nutzung der Daten notwendiger Detaillierungsgrad

Kriterien zur Auswahl von Erfassungstechnologien (Reisich 2022):

ID	Kriterium	Definition
K45	Anzeigegestaltung	Art der Darstellung der Information auf dem Display
K46	Geräterobustheit gegen Schäden	Robustheit der Datenerfassungsgeräte gegen Schäden durch äußere Einwirkungen
K47	Datenmenge	Datenumfang, der erfasst werden kann
K48	Leseabstand	Abstand, der ein korrektes Ab- oder Auslesen der Daten erlaubt
K49	Pulkerfassung	Gleichzeitige Erfassung von mehreren Objekten
K50	Erfassungshäufigkeit	Anzahl der erfassten Aufträge pro Zeiteinheit
K51	Personalaufwand	Durch die Datenerfassung gebundenes Personal
K52	Zeitverbrauch	Zeitliche Dauer des Erfassungsvorgangs

Kriterien zur Auswahl von Übertragungstechnologien (Reisich 2022):

ID	Kriterium	Definition
K53	Reichweite	Distanz, die die Übertragungstechnologie überbrücken kann
K54	Übertragungsgeschwindigkeit [z.B. in Mbits/s]	Geschwindigkeit, mit der Datenpakete je Zeiteinheit übertragen werden können

Anhang G: Online-Fragebogen Delphi-Studie

Dataject Delphi-Studie

Kriterien zur Auswahl von Technologien für die Datenidentifikation, -erfassung und -übertragung

Sehr geehrte Damen und Herren,

herzlich willkommen zur ersten Runde unserer Delphi-Studie, die im Rahmen des Forschungsprojektes „dataject.log: Entwicklung eines semantischen Modells zur Beschreibung eines Digitalen Schattens der Logistikprozesse im Maschinen- und Anlagenbau zur Verwendung im Projektmanagement“ durchgeführt wird (weitere Projektinformationen siehe Infokasten am Ende der Seite). Sie befasst sich mit der Erarbeitung von Kriterien zur Auswahl von Technologien für die Identifikation, Erfassung und Übertragung von Logistikdaten auf der Baustelle. Heute wird auf der Baustelle die Erfassung von Logistikdaten häufig noch vernachlässigt, sodass dem Projektmanagement keine zuverlässige Datenbasis vorliegt. Damit einhergehende Informationslücken lassen sich mit Hilfe von Datenidentifikations-, -erfassungs- und -übertragungstechnologien schließen, mit denen logistikrelevante Daten (teil-)automatisch gesammelt, gespeichert und dem Projektmanagement zur Verfügung gestellt werden. Zur anwendungsnahen Auswahl geeigneter Technologien für die Datenidentifikation, -erfassung und -übertragung sollen im Rahmen des Forschungsvorhabens gewichtete Kriterien erarbeitet werden. An dieser Stelle sind wir auf Ihre Expertise angewiesen. Die Befragung wird insgesamt ca. 20 Minuten Zeit in Anspruch nehmen.

Die Fragen im Rahmen der Studie gliedern sich in fünf Kategorien:

1. Soziodemographische Fragen
- 2a. Allgemeine Kriterien (1/2)
- 2b. Allgemeine Kriterien (2/2)
3. Kriterien zur Auswahl von Identifikationstechnologien
4. Kriterien zur Auswahl von Erfassungstechnologien
5. Kriterien zur Auswahl von Übertragungstechnologien

Im Folgenden erhalten Sie zu jeder Kategorie eine Auflistung von möglichen Kriterien. Diese bewerten Sie anhand Ihrer praktischen Erfahrung in Bezug auf ihre Eignung zur Bewertung der jeweiligen Technologien. Wenn Sie für ein Kriterium keine Bewertung vornehmen können, dann wählen Sie die Option „Keine Angabe“ aus. Zudem können Sie weitere Kriterien ergänzen, von denen Sie annehmen, dass sie für die Bewertung von Technologien geeignet sind. Grundsätzlich haben Sie die Möglichkeit, Ihre Antworten zu speichern und zu einem späteren Zeitpunkt fortzufahren.

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

Bei Fragen wenden Sie sich an Herrn Vössing (daniel.voessing@uni-kassel.de).

Vielen Dank!

Ihr dataject-Team

Eine Bemerkung zum Datenschutz

Dies ist eine anonyme Umfrage.

In den Umfrageantworten werden keine persönlichen Informationen über Sie gespeichert, es sei denn, in einer Frage wird explizit danach gefragt. Wenn Sie für diese Umfrage einen Zugangsschlüssel benutzt haben, so können Sie sicher sein, dass der Zugangsschlüssel nicht zusammen mit den Daten abgespeichert wurde. Er wird in einer getrennten Datenbank aufbewahrt und nur aktualisiert, um zu speichern, ob Sie diese Umfrage abgeschlossen haben oder nicht. Es gibt keinen Weg, die Zugangsschlüssel mit den Umfrageergebnissen zusammenzuführen.

Infokasten

Das IGF-Vorhaben 21755 BG der Bundesvereinigung Logistik (BVL) wird über die Allianz industrieller Forschung (AIF) im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

In dieser Umfrage sind 22 Fragen enthalten.

Weiter

Der vollständige Fragebogen ist abrufbar unter folgendem Link:

<https://www.uni-kassel.de/forschung/datajectlog/publikationen-und-vortraege>

Anhang H: Kriterienausprägungen

Allgemeine Kriterien:

Name	Einheit	Auswahltyp	Ausprägung 1	Ausprägung 2	Ausprägung 3	Ausprägung 4	Ausprägung 5	Ausprägung 6	Ausprägung 7	Ausprägung 8	Ausprägung 9	Ausprägung 10
Verfügbarkeit	in %	Ordinal	Sehr gering 0-60	Gering 61-80	Mittel 81-90	Hoch 91-95	Sehr hoch 96-100					
Integrierbarkeit in IT-Landschaft		Ordinal	Nicht kompatibel sehr hoher Integrationsaufwand	Mäßig kompatibel hoher Integrationsaufwand	Bedingt kompatibel mittlerer Integrationsaufwand	Kompatibel geringer Integrationsaufwand						
Prozesssicherheit	in %	Ordinal	Sehr gering 0-80	Gering 81-85	Mittel 86-90	Hoch 91-95	Sehr hoch 96-100					
Bedienbarkeit		Ordinal	Bedienung ausschließlich durch den Menschen notwendig manuell	Bedienung in hohem Umfang durch den Menschen notwendig wenig teilautomatisch	Bedienung in geringem Umfang durch den Menschen notwendig stark teilautomatisch	Keine Bedienung durch den Menschen notwendig automatisch						
Nutzungsdauer	in Jahren	Ordinal	Sehr kurzlebig x kleiner gleich 1	Kurzlebig x größer 1 kleiner 3	Langlebig x größer gleich 3 kleiner 10	Sehr langlebig x größer gleich 10						
Netzwerkanbindung Anzahl der Geräte	in Stück	Ordinal	Sehr wenige x gleich 2	Wenige x größer 2 kleiner gleich 100	Mittel x größer 100 kleiner gleich 1.000	Viele x größer 1000 kleiner gleich 10.000	Sehr viele x größer 10.000					
Datenformat Datentyp		Nominal	Boolean 0 oder 1	Integer ganze zahl	Real Gleitkom- mazahl	Float Gleitkom- mazahl	Char Zeichen	String Zeichenkette	Enum Aufzählung	Datetime Datumsan- gabe	Timestamp Zeitangabe	Geokoordi- naten Ortsangabe
Datenformat Standardisierung		Nominal	GLN 13ZI	EAN8 GTIN8 8ZI	EAN13 GTIN13 13ZI	UPC GTIN12 12ZI	NVE 18ZI	RAI 13ZI plus 16ZE				
Genauigkeit		Ordinal	Sehr gering 0-80	Gering 81-85	Mittel 86-90	Hoch 91-95	Sehr hoch 96-100					
Vertrauenswürdigkeit der Datenquelle		Ordinal	Normal Schadensaus- wirkungen be- grenzt	Hoch Schadensaus- wirkung be- trächtlich	Sehr hoch Schadensaus- wirkungen existenziell bedrohlich							
Rückverfolgbarkeit		Ordinal	Nicht gegeben	Begrenzt	Gegeben							

Kriterien zur Beschreibung von Identifikationstechnologien:

Name	Einheit	Auswahltyp	Ausprägung 1	Ausprägung 2	Ausprägung 3	Ausprägung 4	Ausprägung 5	Ausprägung 6	Ausprägung 7	Ausprägung 8	Ausprägung 9	Ausprägung 10
Zugänglichkeit	s	Ordinal	Hoch $x \geq 5$	Mittel $1 < x \leq 5$	Gering $x \leq 1$							
Granularität	Merkmale	Ordinal	Gering $x \geq 1$	Mittel $1 < x \leq 3$	Hoch $x > 3$							

Kriterien zur Beschreibung von Datenerfassungstechnologien:

Name	Einheit	Auswahltyp	Ausprägung 1	Ausprägung 2	Ausprägung 3	Ausprägung 4	Ausprägung 5	Ausprägung 6	Ausprägung 7	Ausprägung 8	Ausprägung 9	Ausprägung 10
Robustheit gegen Schäden Feuchtigkeit		Ordinal	Sehr gering Reinraum	Gering normale Luftfeuchtigkeit	Mittel hohe Luftfeuchtigkeit	Hoch Spritzwasser	Sehr hoch unter Wasser					
Robustheit gegen Schäden Erschütterung	m	Ordinal	Sehr gering unbemerkt	Gering leichte Vibration	Mittel Zusammenstoß	Stark freier Fall kleiner 1	Sehr stark freier Fall höher 1					
Robustheit gegen Schäden Temperatur	°C	Ordinal	Sehr gering 0-20	Gering minus 5-25	Mittel minus 10-30	Hoch minus 20-50	Sehr hoch minus 30-70					
Robustheit gegen Schäden Fremdkörper	mm	Ordinal	Sehr gering staubdicht	Gering staubgeschützt	Mittel Fremdkörper größer gleich 1	Hoch Fremdkörper grösser 2.5 kleiner gleich 1	Sehr hoch Fremdkörper grösser 10 kleiner gleich 2.5					
Leseabstand	cm	Ordinal	Sehr hoch x größer 1000	Hoch x größer 100 kleiner gleich 1000	Mittel x größer 10 kleiner gleich 100	Gering x größer 0 kleiner gleich 10	Sehr gering x gleich 0					

Kriterien zur Beschreibung von Übertragungstechnologien:

Name	Einheit	Auswahltyp	Ausprägung 1	Ausprägung 2	Ausprägung 3	Ausprägung 4	Ausprägung 5	Ausprägung 6	Ausprägung 7	Ausprägung 8	Ausprägung 9	Ausprägung 10
Übertragungsgeschwindigkeit	in Mbit/s	Ordinal	Sehr gering x kleiner gleich 5	Gering x größer 5 kleiner 50	Mittel x größer 51 kleiner 100	Hoch x größer 101 kleiner 1000	Sehr hoch x größer gleich 1.000					
Reichweite	m	Nominal	PAN x kleiner 10	WLAN x kleiner 20	LAN x kleiner 900	MAN x kleiner 60.000	WAN x größer 60.000					

Hilfskriterien:

Name	Einheit	Auswahltyp	Ausprägung 1	Ausprägung 2	Ausprägung 3	Ausprägung 4	Ausprägung 5	Ausprägung 6	Ausprägung 7	Ausprägung 8	Ausprägung 9	Ausprägung 10
Örtliche Flexibilität		Nominal	Mobil	Ort fest								
Datenübertragungstyp		Nominal	Kabelgebunden	Drahtlos								
Umgebung		Nominal	Indoor	Outdoor								

Anhang I: Technologiematrix

Bewertung von Identifikationstechnologien:

Name	K05	K07	K18	K20	K29	K31	K34A	K34B	K35	K36	K37	K38	K39	K40	K43	K44	K46A	K46B	K46C	K46D	K48	K53	K54	SK1	SK2	SK3						
	Verfügbarkeit	Integrierbarkeit in IT-Landschaft	Prozesssicherheit	Bedienbarkeit	Nutzungsdauer	Netzwerkbindung Anzahl der Geräte	Datenformat Datentyp	Datenformat Standardisierung	Genauigkeit	Vollständigkeit	Vertrauenswürdigkeit der Datenquelle	Korrektheit	Relevanz	Rückverfolgbarkeit	Zugänglichkeit	Granularität	Robustheit gegen Schäden Feuchtigkeit	Robustheit gegen Schäden Erschütterung	Robustheit gegen Schäden Temperatur	Robustheit gegen Schäden Fremdkörper	Leseabstand	Übertragungsgeschwindigkeit	Reichweite	Örtliche Flexibilität	Datenübertragungsart	Umgebung						
Code 2 aus 5	5	4	4	3	1		2	1	2	3	4					1	1	1	1	1	2	1										1
Code 2 aus 5 Interleaved	5	4	4	3	1		2	1	2	3	4					1	1	1	1	1	2	1										1
Code 39	5	4	4	3	1		6	1	2	3	4					1	1	1	1	1	2	1										1
EAN 13	5	4	5	3	1		2	1	2	3	4					1	1	1	1	1	2	1										1
EAN 8	5	4	5	3	1		2									1	1	1	1	1	2	1										1
Code 128	5	4	4	3	1		6					5		7		1	1	1	1	1	2	1										1
Code 49	5	4	5	3	2		6	1	2	3	4		6			1	1	1	1	1	2	2										1
Codablock Barcode	5	4	5	3	2		6	1	2	3	4		6			1	1	1	1	1	2	2										1
PDF 417	5	4	5	3	2		6	1	2	3	4		6			1	1	1	1	1	2	2										1
Aztec	5	4	5	3	2		6	1	2	3	4		6			1	1	1	1	1	2	2										1
QR-Code	5	4	5	3	2		6	1	2	3	4		6			1	1	1	1	1	2	2										1
MaxiCode	5	4	5	3	2		6	1	2	3	4		6			1	1	1	1	1	2	2										1
Data Matrix Code	5	4	5	3	2		6	1	2	3	4		6			1	1	1	1	1	2	2										1
Dot Code A	5	4	5	3	2		6	1	2	3	4		6			1	1	1	1	1	2	2										1
Color Code	5	4	5	3	2		6	1	2	3	4		6			1	1	1	1	1	2	2										1
Color Ultra Code	5	4	5	3	2		6	1	2	3	4		6			1	1	1	1	1	2	2										1
Passive Transponder	4	2	4	4	2		6	1	2	3	4		6			1	2	1	1	3	3	3										1
Aktive Transponder	4	2	4	4	3		6	1	2	3	4		6			1	2	1	1	3	3	3										1
Semiaktive Transponder	4	2	4	4	3		6	1	2	3	4		6			1	2	1	1	3	3	3										1
Satellit Antenne	3	2	4	4	4		10									1	1	1	1	3	2	1										2
Lasersender	4	2	4	4	4		6									1	1	1	1	3	2	1										1
Transponder Regalleser	4	2	4	4	3		6	1	2	3	4		6			1	2	1	1	3	3	3										1
Transponder Durchgangsleser für Personen	4	2	4	4	3		6	1	2	3	4		6			1	2	1	1	3	3	3										1
Transponder Tunnel Leser	4	2	4	4	3		6	1	2	3	4		6			1	2	1	1	3	3	3										1
Transponder Gate Reader für Paletten und Behälter	4	2	4	4	3		6	1	2	3	4		6			1	2	1	1	3	3	3										1

Bewertung von Erfassungstechnologien:

Name	Verfügbarkeit					Datenformat Datentyp	Genauigkeit	Vollständigkeit	Vertrauenswürdigkeit der Datenquelle	Korrektheit	Relevanz	Rückverfolgbarkeit	Zugänglichkeit	Granularität	Robustheit gegen Schäden Feuchtigkeit	Robustheit gegen Schäden Erschütterung	Robustheit gegen Schäden Temperatur	Robustheit gegen Schäden Fremdkörper	Leseabstand	Übertragungsgeschwindigkeit	Reichweite	Örtliche Flexibilität	Datenübertragungsart	Umgebung							
	K05	K07	K18	K20	K29																				K31	K34A	K34B	K34B	K34B	K34B	K34B
Pos Scanner	4	3	4	3	4		5	1		1	1	2			3	3	3	2	5			2		1							
Laserscanner	4	3	4	3	4		5	1		1	1	2			3	3	3	2	4			1		1							
Barcodelesestift	4	3	4	3	4		5	1		1	1	2			3	3	3	2	4			1		1							
CCD-Handscanner	4	3	4	3	4		5	1		1	1	2			3	3	3	2	4			1		1							
Kamera	4	3	4	3	4		5	1		1	1	2			3	3	3	2	3			1		1							
Zeilensensor	4	3	4	3	4		5	1		1	1	2			3	3	3	2	3			1		1							
2D Kamerachip	4	3	4	3	4		5	1		1	1	2			3	3	3	2	3			1		1							
RFID-Lesegerät	4	2	4	4	4		5	1		1	1	2			4	4	3	3	2			1		1							
GPS- Sensor outdoor	3	4	4	4	4		5	1		1	1	2			4	4	3	3	1			1		2							
GPS-Sensor indoor	4	4	4	4	4		5	1		1	1	2			4	4	3	3	2			1		1							
Lesegerät Regalleser	4	2	4	4	4		5	1		1	1	2			4	4	3	3	2			2		1							
Antennen Durchgangsleser für Personen	4	2	4	4	4		5	1		1	1	2			4	4	3	3	2			2		1							
Antennen Tunnel Leser	4	2	4	4	4		5	1		1	1	2			4	4	3	3	2			2		1							
Antennen Gate Reader für Paletten und Behälter	4	2	4	4	4		5	1		1	1	2			4	4	3	3	2			2		1							

Bewertung von Übertragungstechnologien:

Name	Verfügbarkeit					Integrierbarkeit in IT-Landschaft	Prozesssicherheit	Bedienbarkeit	Nutzungsdauer	Netzwerkbindung Anzahl der Geräte	Datenformat Datentyp	Datenformat Standardisierung	Genauigkeit	Vollständigkeit	Vertrauenswürdigkeit der Datenquelle	Korrektheit	Relevanz	Rückverfolgbarkeit	Zugänglichkeit	Granularität	Robustheit gegen Schäden Feuchtigkeit	Robustheit gegen Schäden Erschütterung	Robustheit gegen Schäden Temperatur	Robustheit gegen Schäden Fremdkörper	Leseabstand	Übertragungsgeschwindigkeit	Reichweite	Örtliche Flexibilität	Datenübertragungsart	Umgebung					
	K05	K07	K18	K20	K29																														
WLAN	4	4	4	4	4	5											5	1		1	1	2									2	1		2	
Bluetooth	4	4	4	4	4	1											5	1		1	1	2									1	1		2	
Mobilfunk LTE	3	2	4	4	4	5											5	1		1	1	2									5	5		2	
Mobilfunk 5G	3	2	4	4	4	5											5	1		1	1	2									5	5		2	
LAN	5	2	4	4	4	5											5	1		1	1	2									3	5		1	

Anhang J: Technologieketten

ID TK	ID IT	Name IT	ID ET	Name ET	ID UeT	Name UeT
TK001	IT001	Code 2 aus 5	ET001	Pos Scanner	UeT001	WLAN
TK002	IT001	Code 2 aus 5	ET001	Pos Scanner	UeT002	Bluetooth
TK003	IT001	Code 2 aus 5	ET001	Pos Scanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK004	IT001	Code 2 aus 5	ET001	Pos Scanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK005	IT001	Code 2 aus 5	ET001	Pos Scanner	UeT005	LAN
TK006	IT001	Code 2 aus 5	ET002	Laserscanner	UeT001	WLAN
TK007	IT001	Code 2 aus 5	ET002	Laserscanner	UeT002	Bluetooth
TK008	IT001	Code 2 aus 5	ET002	Laserscanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK009	IT001	Code 2 aus 5	ET002	Laserscanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK010	IT001	Code 2 aus 5	ET002	Laserscanner	UeT005	LAN
TK011	IT001	Code 2 aus 5	ET003	Barcodelesestift	UeT001	WLAN
TK012	IT001	Code 2 aus 5	ET003	Barcodelesestift	UeT002	Bluetooth
TK013	IT001	Code 2 aus 5	ET003	Barcodelesestift	UeT003	Mobilfunk LTE
TK014	IT001	Code 2 aus 5	ET003	Barcodelesestift	UeT004	Mobilfunk 5G
TK015	IT001	Code 2 aus 5	ET003	Barcodelesestift	UeT005	LAN
TK016	IT001	Code 2 aus 5	ET004	CCD Handscanner	UeT001	WLAN
TK017	IT001	Code 2 aus 5	ET004	CCD Handscanner	UeT002	Bluetooth
TK018	IT001	Code 2 aus 5	ET004	CCD Handscanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK019	IT001	Code 2 aus 5	ET004	CCD Handscanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK020	IT001	Code 2 aus 5	ET004	CCD Handscanner	UeT005	LAN
TK021	IT002	Code 2 aus 5 Interleaved	ET001	Pos Scanner	UeT001	WLAN
TK022	IT002	Code 2 aus 5 Interleaved	ET001	Pos Scanner	UeT002	Bluetooth
TK023	IT002	Code 2 aus 5 Interleaved	ET001	Pos Scanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK024	IT002	Code 2 aus 5 Interleaved	ET001	Pos Scanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK025	IT002	Code 2 aus 5 Interleaved	ET001	Pos Scanner	UeT005	LAN
TK026	IT002	Code 2 aus 5 Interleaved	ET002	Laserscanner	UeT001	WLAN
TK027	IT002	Code 2 aus 5 Interleaved	ET002	Laserscanner	UeT002	Bluetooth
TK028	IT002	Code 2 aus 5 Interleaved	ET002	Laserscanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK029	IT002	Code 2 aus 5 Interleaved	ET002	Laserscanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK030	IT002	Code 2 aus 5 Interleaved	ET002	Laserscanner	UeT005	LAN
TK031	IT002	Code 2 aus 5 Interleaved	ET003	Barcodelesestift	UeT001	WLAN
TK032	IT002	Code 2 aus 5 Interleaved	ET003	Barcodelesestift	UeT002	Bluetooth
TK033	IT002	Code 2 aus 5 Interleaved	ET003	Barcodelesestift	UeT003	Mobilfunk LTE
TK034	IT002	Code 2 aus 5 Interleaved	ET003	Barcodelesestift	UeT004	Mobilfunk 5G
TK035	IT002	Code 2 aus 5 Interleaved	ET003	Barcodelesestift	UeT005	LAN
TK036	IT002	Code 2 aus 5 Interleaved	ET004	CCD Handscanner	UeT001	WLAN
TK037	IT002	Code 2 aus 5 Interleaved	ET004	CCD Handscanner	UeT002	Bluetooth
TK038	IT002	Code 2 aus 5 Interleaved	ET004	CCD Handscanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK039	IT002	Code 2 aus 5 Interleaved	ET004	CCD Handscanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK040	IT002	Code 2 aus 5 Interleaved	ET004	CCD Handscanner	UeT005	LAN
TK041	IT003	Code 39	ET001	Pos Scanner	UeT001	WLAN
TK042	IT003	Code 39	ET001	Pos Scanner	UeT002	Bluetooth
TK043	IT003	Code 39	ET001	Pos Scanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK044	IT003	Code 39	ET001	Pos Scanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK045	IT003	Code 39	ET001	Pos Scanner	UeT005	LAN
TK046	IT003	Code 39	ET002	Laserscanner	UeT001	WLAN
TK047	IT003	Code 39	ET002	Laserscanner	UeT002	Bluetooth
TK048	IT003	Code 39	ET002	Laserscanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK049	IT003	Code 39	ET002	Laserscanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK050	IT003	Code 39	ET002	Laserscanner	UeT005	LAN
TK051	IT003	Code 39	ET003	Barcodelesestift	UeT001	WLAN
TK052	IT003	Code 39	ET003	Barcodelesestift	UeT002	Bluetooth
TK053	IT003	Code 39	ET003	Barcodelesestift	UeT003	Mobilfunk LTE
TK054	IT003	Code 39	ET003	Barcodelesestift	UeT004	Mobilfunk 5G
TK055	IT003	Code 39	ET003	Barcodelesestift	UeT005	LAN
TK056	IT003	Code 39	ET004	CCD Handscanner	UeT001	WLAN
TK057	IT003	Code 39	ET004	CCD Handscanner	UeT002	Bluetooth
TK058	IT003	Code 39	ET004	CCD Handscanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK059	IT003	Code 39	ET004	CCD Handscanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK060	IT003	Code 39	ET004	CCD Handscanner	UeT005	LAN
TK061	IT004	EAN 13	ET001	Pos Scanner	UeT001	WLAN
TK062	IT004	EAN 13	ET001	Pos Scanner	UeT002	Bluetooth
TK063	IT004	EAN 13	ET001	Pos Scanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK064	IT004	EAN 13	ET001	Pos Scanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK065	IT004	EAN 13	ET001	Pos Scanner	UeT005	LAN
TK066	IT004	EAN 13	ET002	Laserscanner	UeT001	WLAN
TK067	IT004	EAN 13	ET002	Laserscanner	UeT002	Bluetooth
TK068	IT004	EAN 13	ET002	Laserscanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK069	IT004	EAN 13	ET002	Laserscanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK070	IT004	EAN 13	ET002	Laserscanner	UeT005	LAN
TK071	IT004	EAN 13	ET003	Barcodelesestift	UeT001	WLAN
TK072	IT004	EAN 13	ET003	Barcodelesestift	UeT002	Bluetooth
TK073	IT004	EAN 13	ET003	Barcodelesestift	UeT003	Mobilfunk LTE
TK074	IT004	EAN 13	ET003	Barcodelesestift	UeT004	Mobilfunk 5G
TK075	IT004	EAN 13	ET003	Barcodelesestift	UeT005	LAN
TK076	IT004	EAN 13	ET004	CCD Handscanner	UeT001	WLAN
TK077	IT004	EAN 13	ET004	CCD Handscanner	UeT002	Bluetooth
TK078	IT004	EAN 13	ET004	CCD Handscanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK079	IT004	EAN 13	ET004	CCD Handscanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK080	IT004	EAN 13	ET004	CCD Handscanner	UeT005	LAN
TK081	IT005	EAN 8	ET001	Pos Scanner	UeT001	WLAN
TK082	IT005	EAN 8	ET001	Pos Scanner	UeT002	Bluetooth
TK083	IT005	EAN 8	ET001	Pos Scanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK084	IT005	EAN 8	ET001	Pos Scanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK085	IT005	EAN 8	ET001	Pos Scanner	UeT005	LAN
TK086	IT005	EAN 8	ET002	Laserscanner	UeT001	WLAN
TK087	IT005	EAN 8	ET002	Laserscanner	UeT002	Bluetooth
TK088	IT005	EAN 8	ET002	Laserscanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK089	IT005	EAN 8	ET002	Laserscanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK090	IT005	EAN 8	ET002	Laserscanner	UeT005	LAN

Anhang J: Technologieketten

ID TK	ID IT	Name IT	ID ET	Name ET	ID UeT	Name UeT
TK091	IT005	EAN 8	ET003	Barcodelesestift	UeT001	WLAN
TK092	IT005	EAN 8	ET003	Barcodelesestift	UeT002	Bluetooth
TK093	IT005	EAN 8	ET003	Barcodelesestift	UeT003	Mobilfunk LTE
TK094	IT005	EAN 8	ET003	Barcodelesestift	UeT004	Mobilfunk 5G
TK095	IT005	EAN 8	ET003	Barcodelesestift	UeT005	LAN
TK096	IT005	EAN 8	ET004	CCD Hands scanner	UeT001	WLAN
TK097	IT005	EAN 8	ET004	CCD Hands scanner	UeT002	Bluetooth
TK098	IT005	EAN 8	ET004	CCD Hands scanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK099	IT005	EAN 8	ET004	CCD Hands scanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK100	IT005	EAN 8	ET004	CCD Hands scanner	UeT005	LAN
TK101	IT006	Code 128	ET001	Pos Scanner	UeT001	WLAN
TK102	IT006	Code 128	ET001	Pos Scanner	UeT002	Bluetooth
TK103	IT006	Code 128	ET001	Pos Scanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK104	IT006	Code 128	ET001	Pos Scanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK105	IT006	Code 128	ET001	Pos Scanner	UeT005	LAN
TK106	IT006	Code 128	ET002	Laserscanner	UeT001	WLAN
TK107	IT006	Code 128	ET002	Laserscanner	UeT002	Bluetooth
TK108	IT006	Code 128	ET002	Laserscanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK109	IT006	Code 128	ET002	Laserscanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK110	IT006	Code 128	ET002	Laserscanner	UeT005	LAN
TK111	IT006	Code 128	ET003	Barcodelesestift	UeT001	WLAN
TK112	IT006	Code 128	ET003	Barcodelesestift	UeT002	Bluetooth
TK113	IT006	Code 128	ET003	Barcodelesestift	UeT003	Mobilfunk LTE
TK114	IT006	Code 128	ET003	Barcodelesestift	UeT004	Mobilfunk 5G
TK115	IT006	Code 128	ET003	Barcodelesestift	UeT005	LAN
TK116	IT006	Code 128	ET004	CCD Hands scanner	UeT001	WLAN
TK117	IT006	Code 128	ET004	CCD Hands scanner	UeT002	Bluetooth
TK118	IT006	Code 128	ET004	CCD Hands scanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK119	IT006	Code 128	ET004	CCD Hands scanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK120	IT006	Code 128	ET004	CCD Hands scanner	UeT005	LAN
TK121	IT007	Code 49	ET001	Pos Scanner	UeT001	WLAN
TK122	IT007	Code 49	ET001	Pos Scanner	UeT002	Bluetooth
TK123	IT007	Code 49	ET001	Pos Scanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK124	IT007	Code 49	ET001	Pos Scanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK125	IT007	Code 49	ET001	Pos Scanner	UeT005	LAN
TK126	IT007	Code 49	ET002	Laserscanner	UeT001	WLAN
TK127	IT007	Code 49	ET002	Laserscanner	UeT002	Bluetooth
TK128	IT007	Code 49	ET002	Laserscanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK129	IT007	Code 49	ET002	Laserscanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK130	IT007	Code 49	ET002	Laserscanner	UeT005	LAN
TK131	IT007	Code 49	ET003	Barcodelesestift	UeT001	WLAN
TK132	IT007	Code 49	ET003	Barcodelesestift	UeT002	Bluetooth
TK133	IT007	Code 49	ET003	Barcodelesestift	UeT003	Mobilfunk LTE
TK134	IT007	Code 49	ET003	Barcodelesestift	UeT004	Mobilfunk 5G
TK135	IT007	Code 49	ET003	Barcodelesestift	UeT005	LAN
TK136	IT007	Code 49	ET004	CCD Hands scanner	UeT001	WLAN
TK137	IT007	Code 49	ET004	CCD Hands scanner	UeT002	Bluetooth
TK138	IT007	Code 49	ET004	CCD Hands scanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK139	IT007	Code 49	ET004	CCD Hands scanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK140	IT007	Code 49	ET004	CCD Hands scanner	UeT005	LAN
TK141	IT008	Codablock Barcode	ET001	Pos Scanner	UeT001	WLAN
TK142	IT008	Codablock Barcode	ET001	Pos Scanner	UeT002	Bluetooth
TK143	IT008	Codablock Barcode	ET001	Pos Scanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK144	IT008	Codablock Barcode	ET001	Pos Scanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK145	IT008	Codablock Barcode	ET001	Pos Scanner	UeT005	LAN
TK146	IT008	Codablock Barcode	ET002	Laserscanner	UeT001	WLAN
TK147	IT008	Codablock Barcode	ET002	Laserscanner	UeT002	Bluetooth
TK148	IT008	Codablock Barcode	ET002	Laserscanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK149	IT008	Codablock Barcode	ET002	Laserscanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK150	IT008	Codablock Barcode	ET002	Laserscanner	UeT005	LAN
TK151	IT008	Codablock Barcode	ET003	Barcodelesestift	UeT001	WLAN
TK152	IT008	Codablock Barcode	ET003	Barcodelesestift	UeT002	Bluetooth
TK153	IT008	Codablock Barcode	ET003	Barcodelesestift	UeT003	Mobilfunk LTE
TK154	IT008	Codablock Barcode	ET003	Barcodelesestift	UeT004	Mobilfunk 5G
TK155	IT008	Codablock Barcode	ET003	Barcodelesestift	UeT005	LAN
TK156	IT008	Codablock Barcode	ET004	CCD Hands scanner	UeT001	WLAN
TK157	IT008	Codablock Barcode	ET004	CCD Hands scanner	UeT002	Bluetooth
TK158	IT008	Codablock Barcode	ET004	CCD Hands scanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK159	IT008	Codablock Barcode	ET004	CCD Hands scanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK160	IT008	Codablock Barcode	ET004	CCD Hands scanner	UeT005	LAN
TK161	IT009	PDF 417	ET001	Pos Scanner	UeT001	WLAN
TK162	IT009	PDF 417	ET001	Pos Scanner	UeT002	Bluetooth
TK163	IT009	PDF 417	ET001	Pos Scanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK164	IT009	PDF 417	ET001	Pos Scanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK165	IT009	PDF 417	ET001	Pos Scanner	UeT005	LAN
TK166	IT009	PDF 417	ET002	Laserscanner	UeT001	WLAN
TK167	IT009	PDF 417	ET002	Laserscanner	UeT002	Bluetooth
TK168	IT009	PDF 417	ET002	Laserscanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK169	IT009	PDF 417	ET002	Laserscanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK170	IT009	PDF 417	ET002	Laserscanner	UeT005	LAN
TK171	IT009	PDF 417	ET003	Barcodelesestift	UeT001	WLAN
TK172	IT009	PDF 417	ET003	Barcodelesestift	UeT002	Bluetooth
TK173	IT009	PDF 417	ET003	Barcodelesestift	UeT003	Mobilfunk LTE
TK174	IT009	PDF 417	ET003	Barcodelesestift	UeT004	Mobilfunk 5G
TK175	IT009	PDF 417	ET003	Barcodelesestift	UeT005	LAN
TK176	IT009	PDF 417	ET004	CCD Hands scanner	UeT001	WLAN
TK177	IT009	PDF 417	ET004	CCD Hands scanner	UeT002	Bluetooth
TK178	IT009	PDF 417	ET004	CCD Hands scanner	UeT003	Mobilfunk LTE
TK179	IT009	PDF 417	ET004	CCD Hands scanner	UeT004	Mobilfunk 5G
TK180	IT009	PDF 417	ET004	CCD Hands scanner	UeT005	LAN
TK181	IT010	Aztec	ET005	Kamera	UeT001	WLAN
TK182	IT010	Aztec	ET005	Kamera	UeT002	Bluetooth
TK183	IT010	Aztec	ET005	Kamera	UeT003	Mobilfunk LTE
TK184	IT010	Aztec	ET005	Kamera	UeT004	Mobilfunk 5G
TK185	IT010	Aztec	ET005	Kamera	UeT005	LAN

Anhang J: Technologieketten

ID TK	ID IT	Name IT	ID ET	Name ET	ID UeT	Name UeT
TK186	IT010	Aztec	ET006	Zeilensensor	UeT001	WLAN
TK187	IT010	Aztec	ET006	Zeilensensor	UeT002	Bluetooth
TK188	IT010	Aztec	ET006	Zeilensensor	UeT003	Mobilfunk LTE
TK189	IT010	Aztec	ET006	Zeilensensor	UeT004	Mobilfunk 5G
TK190	IT010	Aztec	ET006	Zeilensensor	UeT005	LAN
TK191	IT010	Aztec	ET007	2D Kamerachip	UeT001	WLAN
TK192	IT010	Aztec	ET007	2D Kamerachip	UeT002	Bluetooth
TK193	IT010	Aztec	ET007	2D Kamerachip	UeT003	Mobilfunk LTE
TK194	IT010	Aztec	ET007	2D Kamerachip	UeT004	Mobilfunk 5G
TK195	IT010	Aztec	ET007	2D Kamerachip	UeT005	LAN
TK196	IT011	QR Code	ET005	Kamera	UeT001	WLAN
TK197	IT011	QR Code	ET005	Kamera	UeT002	Bluetooth
TK198	IT011	QR Code	ET005	Kamera	UeT003	Mobilfunk LTE
TK199	IT011	QR Code	ET005	Kamera	UeT004	Mobilfunk 5G
TK200	IT011	QR Code	ET005	Kamera	UeT005	LAN
TK201	IT011	QR Code	ET006	Zeilensensor	UeT001	WLAN
TK202	IT011	QR Code	ET006	Zeilensensor	UeT002	Bluetooth
TK203	IT011	QR Code	ET006	Zeilensensor	UeT003	Mobilfunk LTE
TK204	IT011	QR Code	ET006	Zeilensensor	UeT004	Mobilfunk 5G
TK205	IT011	QR Code	ET006	Zeilensensor	UeT005	LAN
TK206	IT011	QR Code	ET007	2D Kamerachip	UeT001	WLAN
TK207	IT011	QR Code	ET007	2D Kamerachip	UeT002	Bluetooth
TK208	IT011	QR Code	ET007	2D Kamerachip	UeT003	Mobilfunk LTE
TK209	IT011	QR Code	ET007	2D Kamerachip	UeT004	Mobilfunk 5G
TK210	IT011	QR Code	ET007	2D Kamerachip	UeT005	LAN
TK211	IT012	MaxiCode	ET005	Kamera	UeT001	WLAN
TK212	IT012	MaxiCode	ET005	Kamera	UeT002	Bluetooth
TK213	IT012	MaxiCode	ET005	Kamera	UeT003	Mobilfunk LTE
TK214	IT012	MaxiCode	ET005	Kamera	UeT004	Mobilfunk 5G
TK215	IT012	MaxiCode	ET005	Kamera	UeT005	LAN
TK216	IT012	MaxiCode	ET006	Zeilensensor	UeT001	WLAN
TK217	IT012	MaxiCode	ET006	Zeilensensor	UeT002	Bluetooth
TK218	IT012	MaxiCode	ET006	Zeilensensor	UeT003	Mobilfunk LTE
TK219	IT012	MaxiCode	ET006	Zeilensensor	UeT004	Mobilfunk 5G
TK220	IT012	MaxiCode	ET006	Zeilensensor	UeT005	LAN
TK221	IT012	MaxiCode	ET007	2D Kamerachip	UeT001	WLAN
TK222	IT012	MaxiCode	ET007	2D Kamerachip	UeT002	Bluetooth
TK223	IT012	MaxiCode	ET007	2D Kamerachip	UeT003	Mobilfunk LTE
TK224	IT012	MaxiCode	ET007	2D Kamerachip	UeT004	Mobilfunk 5G
TK225	IT012	MaxiCode	ET007	2D Kamerachip	UeT005	LAN
TK226	IT013	Data Matrix Code	ET005	Kamera	UeT001	WLAN
TK227	IT013	Data Matrix Code	ET005	Kamera	UeT002	Bluetooth
TK228	IT013	Data Matrix Code	ET005	Kamera	UeT003	Mobilfunk LTE
TK229	IT013	Data Matrix Code	ET005	Kamera	UeT004	Mobilfunk 5G
TK230	IT013	Data Matrix Code	ET005	Kamera	UeT005	LAN
TK231	IT013	Data Matrix Code	ET006	Zeilensensor	UeT001	WLAN
TK232	IT013	Data Matrix Code	ET006	Zeilensensor	UeT002	Bluetooth
TK233	IT013	Data Matrix Code	ET006	Zeilensensor	UeT003	Mobilfunk LTE
TK234	IT013	Data Matrix Code	ET006	Zeilensensor	UeT004	Mobilfunk 5G
TK235	IT013	Data Matrix Code	ET006	Zeilensensor	UeT005	LAN
TK236	IT013	Data Matrix Code	ET007	2D Kamerachip	UeT001	WLAN
TK237	IT013	Data Matrix Code	ET007	2D Kamerachip	UeT002	Bluetooth
TK238	IT013	Data Matrix Code	ET007	2D Kamerachip	UeT003	Mobilfunk LTE
TK239	IT013	Data Matrix Code	ET007	2D Kamerachip	UeT004	Mobilfunk 5G
TK240	IT013	Data Matrix Code	ET007	2D Kamerachip	UeT005	LAN
TK241	IT014	Dot Code A	ET005	Kamera	UeT001	WLAN
TK242	IT014	Dot Code A	ET005	Kamera	UeT002	Bluetooth
TK243	IT014	Dot Code A	ET005	Kamera	UeT003	Mobilfunk LTE
TK244	IT014	Dot Code A	ET005	Kamera	UeT004	Mobilfunk 5G
TK245	IT014	Dot Code A	ET005	Kamera	UeT005	LAN
TK246	IT014	Dot Code A	ET006	Zeilensensor	UeT001	WLAN
TK247	IT014	Dot Code A	ET006	Zeilensensor	UeT002	Bluetooth
TK248	IT014	Dot Code A	ET006	Zeilensensor	UeT003	Mobilfunk LTE
TK249	IT014	Dot Code A	ET006	Zeilensensor	UeT004	Mobilfunk 5G
TK250	IT014	Dot Code A	ET006	Zeilensensor	UeT005	LAN
TK251	IT014	Dot Code A	ET007	2D Kamerachip	UeT001	WLAN
TK252	IT014	Dot Code A	ET007	2D Kamerachip	UeT002	Bluetooth
TK253	IT014	Dot Code A	ET007	2D Kamerachip	UeT003	Mobilfunk LTE
TK254	IT014	Dot Code A	ET007	2D Kamerachip	UeT004	Mobilfunk 5G
TK255	IT014	Dot Code A	ET007	2D Kamerachip	UeT005	LAN
TK256	IT015	Color Code	ET005	Kamera	UeT001	WLAN
TK257	IT015	Color Code	ET005	Kamera	UeT002	Bluetooth
TK258	IT015	Color Code	ET005	Kamera	UeT003	Mobilfunk LTE
TK259	IT015	Color Code	ET005	Kamera	UeT004	Mobilfunk 5G
TK260	IT015	Color Code	ET005	Kamera	UeT005	LAN
TK261	IT015	Color Code	ET006	Zeilensensor	UeT001	WLAN
TK262	IT015	Color Code	ET006	Zeilensensor	UeT002	Bluetooth
TK263	IT015	Color Code	ET006	Zeilensensor	UeT003	Mobilfunk LTE
TK264	IT015	Color Code	ET006	Zeilensensor	UeT004	Mobilfunk 5G
TK265	IT015	Color Code	ET006	Zeilensensor	UeT005	LAN
TK266	IT015	Color Code	ET007	2D Kamerachip	UeT001	WLAN
TK267	IT015	Color Code	ET007	2D Kamerachip	UeT002	Bluetooth
TK268	IT015	Color Code	ET007	2D Kamerachip	UeT003	Mobilfunk LTE
TK269	IT015	Color Code	ET007	2D Kamerachip	UeT004	Mobilfunk 5G
TK270	IT015	Color Code	ET007	2D Kamerachip	UeT005	LAN
TK271	IT016	Color Ultra Code	ET005	Kamera	UeT001	WLAN
TK272	IT016	Color Ultra Code	ET005	Kamera	UeT002	Bluetooth
TK273	IT016	Color Ultra Code	ET005	Kamera	UeT003	Mobilfunk LTE
TK274	IT016	Color Ultra Code	ET005	Kamera	UeT004	Mobilfunk 5G
TK275	IT016	Color Ultra Code	ET005	Kamera	UeT005	LAN
TK276	IT016	Color Ultra Code	ET006	Zeilensensor	UeT001	WLAN
TK277	IT016	Color Ultra Code	ET006	Zeilensensor	UeT002	Bluetooth
TK278	IT016	Color Ultra Code	ET006	Zeilensensor	UeT003	Mobilfunk LTE
TK279	IT016	Color Ultra Code	ET006	Zeilensensor	UeT004	Mobilfunk 5G
TK280	IT016	Color Ultra Code	ET006	Zeilensensor	UeT005	LAN

ID TK	ID IT	Name IT	ID ET	Name ET	ID UeT	Name UeT
TK281	IT016	Color Ultra Code	ET007	2D Kamerachip	UeT001	WLAN
TK282	IT016	Color Ultra Code	ET007	2D Kamerachip	UeT002	Bluetooth
TK283	IT016	Color Ultra Code	ET007	2D Kamerachip	UeT003	Mobilfunk LTE
TK284	IT016	Color Ultra Code	ET007	2D Kamerachip	UeT004	Mobilfunk 5G
TK285	IT016	Color Ultra Code	ET007	2D Kamerachip	UeT005	LAN
TK286	IT017	Passive Transponder	ET008	RFID Lesegeraet	UeT001	WLAN
TK287	IT017	Passive Transponder	ET008	RFID Lesegeraet	UeT002	Bluetooth
TK288	IT017	Passive Transponder	ET008	RFID Lesegeraet	UeT003	Mobilfunk LTE
TK289	IT017	Passive Transponder	ET008	RFID Lesegeraet	UeT004	Mobilfunk 5G
TK290	IT017	Passive Transponder	ET008	RFID Lesegeraet	UeT005	LAN
TK291	IT018	Aktive Transponder	ET008	RFID Lesegeraet	UeT001	WLAN
TK292	IT018	Aktive Transponder	ET008	RFID Lesegeraet	UeT002	Bluetooth
TK293	IT018	Aktive Transponder	ET008	RFID Lesegeraet	UeT003	Mobilfunk LTE
TK294	IT018	Aktive Transponder	ET008	RFID Lesegeraet	UeT004	Mobilfunk 5G
TK295	IT018	Aktive Transponder	ET008	RFID Lesegeraet	UeT005	LAN
TK296	IT019	Semiaktive Transponder	ET008	RFID Lesegeraet	UeT001	WLAN
TK297	IT019	Semiaktive Transponder	ET008	RFID Lesegeraet	UeT002	Bluetooth
TK298	IT019	Semiaktive Transponder	ET008	RFID Lesegeraet	UeT003	Mobilfunk LTE
TK299	IT019	Semiaktive Transponder	ET008	RFID Lesegeraet	UeT004	Mobilfunk 5G
TK300	IT019	Semiaktive Transponder	ET008	RFID Lesegeraet	UeT005	LAN
TK301	IT020	Satellit Antenne	ET009	GPS Sensor outdoor	UeT001	WLAN
TK302	IT020	Satellit Antenne	ET009	GPS Sensor outdoor	UeT002	Bluetooth
TK303	IT020	Satellit Antenne	ET009	GPS Sensor outdoor	UeT003	Mobilfunk LTE
TK304	IT020	Satellit Antenne	ET009	GPS Sensor outdoor	UeT004	Mobilfunk 5G
TK305	IT020	Satellit Antenne	ET009	GPS Sensor outdoor	UeT005	LAN
TK306	IT021	Lasersender	ET010	GPS Sensor indoor	UeT001	WLAN
TK307	IT021	Lasersender	ET010	GPS Sensor indoor	UeT002	Bluetooth
TK308	IT021	Lasersender	ET010	GPS Sensor indoor	UeT003	Mobilfunk LTE
TK309	IT021	Lasersender	ET010	GPS Sensor indoor	UeT004	Mobilfunk 5G
TK310	IT021	Lasersender	ET010	GPS Sensor indoor	UeT005	LAN
TK311	IT022	Transponder Regalleler	ET011	Lesegeraet Regalleler	UeT001	WLAN
TK312	IT022	Transponder Regalleler	ET011	Lesegeraet Regalleler	UeT002	Bluetooth
TK313	IT022	Transponder Regalleler	ET011	Lesegeraet Regalleler	UeT003	Mobilfunk LTE
TK314	IT022	Transponder Regalleler	ET011	Lesegeraet Regalleler	UeT004	Mobilfunk 5G
TK315	IT022	Transponder Regalleler	ET011	Lesegeraet Regalleler	UeT005	LAN
TK316	IT023	Transponder Durchgangsleser für Personen	ET012	Antennen Durchgangsleser für Personen	UeT001	WLAN
TK317	IT023	Transponder Durchgangsleser für Personen	ET012	Antennen Durchgangsleser für Personen	UeT002	Bluetooth
TK318	IT023	Transponder Durchgangsleser für Personen	ET012	Antennen Durchgangsleser für Personen	UeT003	Mobilfunk LTE
TK319	IT023	Transponder Durchgangsleser für Personen	ET012	Antennen Durchgangsleser für Personen	UeT004	Mobilfunk 5G
TK320	IT023	Transponder Durchgangsleser für Personen	ET012	Antennen Durchgangsleser für Personen	UeT005	LAN
TK321	IT024	Transponder Tunnel Leser	ET013	Antennen Tunnel Leser	UeT001	WLAN
TK322	IT024	Transponder Tunnel Leser	ET013	Antennen Tunnel Leser	UeT002	Bluetooth
TK323	IT024	Transponder Tunnel Leser	ET013	Antennen Tunnel Leser	UeT003	Mobilfunk LTE
TK324	IT024	Transponder Tunnel Leser	ET013	Antennen Tunnel Leser	UeT004	Mobilfunk 5G
TK325	IT024	Transponder Tunnel Leser	ET013	Antennen Tunnel Leser	UeT005	LAN
TK326	IT025	Transponder Gate Reader fuer Paletten und Behaelter	ET014	Antennen Gate Reader fuer Paletten und Behaelter	UeT001	WLAN
TK327	IT025	Transponder Gate Reader fuer Paletten und Behaelter	ET014	Antennen Gate Reader fuer Paletten und Behaelter	UeT003	Mobilfunk LTE
TK328	IT025	Transponder Gate Reader fuer Paletten und Behaelter	ET014	Antennen Gate Reader fuer Paletten und Behaelter	UeT004	Mobilfunk 5G
TK329	IT025	Transponder Gate Reader fuer Paletten und Behaelter	ET014	Antennen Gate Reader fuer Paletten und Behaelter	UeT002	Bluetooth
TK330	IT025	Transponder Gate Reader fuer Paletten und Behaelter	ET014	Antennen Gate Reader fuer Paletten und Behaelter	UeT005	LAN

Anhang K: Anforderungsspezifikationsdokument

Anforderungsspezifikationsdokument	
1	Ersteller
	Forschungsteam dataject.log
2	Datum
	Q3 2022
3	Anwendungsbereich
	Logistische Prozesse des Maschinen- und Anlagenbaus
4	Zweck
	Verarbeitung und Einordnung aller über den Prozess anfallenden Informationen
5	Nutzer
	Monteur:in, Projektplaner:in, Projektleiter:in, Speditionsmitarbeiter:in, Zulieferer:in, Vorgesetzte
6	Level der Formalität
	OWL-basiert
7	Umfang
	Beschreibung der logistischen Prozesse Beschreibung der Technologiekomponenten Darstellung der Wechselbeziehungen zwischen logistischen Prozessen und Technologien
8	Quelle des Wissens
	Literatur BPMN-Modellierung der logistischen Prozesse Technologiekatalog
9	Wissenserfassungstechnik
	Inhaltsanalyse von Wissensquellen Brainstorming
10	Nicht-funktionale Anforderungen
	Die Ontologie soll ein Szenario in Deutsch darstellen können. Europäische und internationale Standards für Ontologien und die Domäne sollten befolgt werden.
11	Kompetenzfragen
	Wie lange dauert der Transport des Materials X zur Baustelle? Wo befindet sich mein Akku-Schrauber A? Wie häufig musste das Material Y umgeräumt werden? Wie ist der aktuelle Baufortschritt? Welche Ressourcen werden zur Erfüllung dieser Aktivitäten benötigt?

Anhang L: Evaluationsbogen Methodik und Ontologiekonzept

Evaluationsbogen

Erste Evaluation der Projektergebnisse im Rahmen des Forschungsprojektes „dataject.log“

dataject.log: Entwicklung eines semantischen Modells zur Beschreibung eines Digitalen Schattens der Logistikprozesse im Maschinen- und Anlagenbau zur Verwendung im Projektmanagement

Evaluationsteil 1: Methodik
Evaluationsteil 2: Ontologiekonzept

Leitung: Prof. Dr.-Ing. Sigrid Wenzel, Prof. Dr. Christoph Laroque
MitarbeiterInnen: Daniel Vössing, Wibke Kusturica, Deike Gliem

Evaluationsdatum: 08.11.2022

Sehr geehrtes Mitglied des Projektbegleitenden Ausschusses,

das Forschungsprojekt „dataject.log: Entwicklung eines semantischen Modells zur Beschreibung eines Digitalen Schattens der Logistikprozesse im Maschinen- und Anlagenbau zur Verwendung im Projektmanagement“ mit der Laufzeit 04/21-05/23 befindet sich in der ersten Evaluationsphase. Wir freuen uns, Ihnen heute unsere ersten Projektergebnisse (Teil 1: Methodik und Teil 2: Ontologiekonzept) vorstellen zu können und danken Ihnen für Ihre Unterstützung bei der Entwicklung eines Digitalen Schattens.

Teil 1: Evaluation der Methodik für die Auswahl einer geeigneten Technologie zur (teil-)automatisierten Datenerfassung im Maschinen- und Anlagenbau

Die Methodik unterstützt bei der Auswahl geeigneter Technologien zur Datenidentifikation, -erfassung und -übertragung für individuelle Einsatzgebiete. Technologieketten bestehen aus je einer Identifikations-, Erfassungs- sowie Übertragungstechnologie und werden als Ergebnis nach einem Filterprozess ausgegeben. Die Grundlage der Methodik basiert auf Bewertungskriterien und deren Ausprägungen, bewerteten Technologien sowie einem Pool möglicher Technologieketten. Die Methodik ist in einer ausführbaren Anwendung in Microsoft Excel umgesetzt worden. In Abbildung 1 ist die Methodik dargestellt.

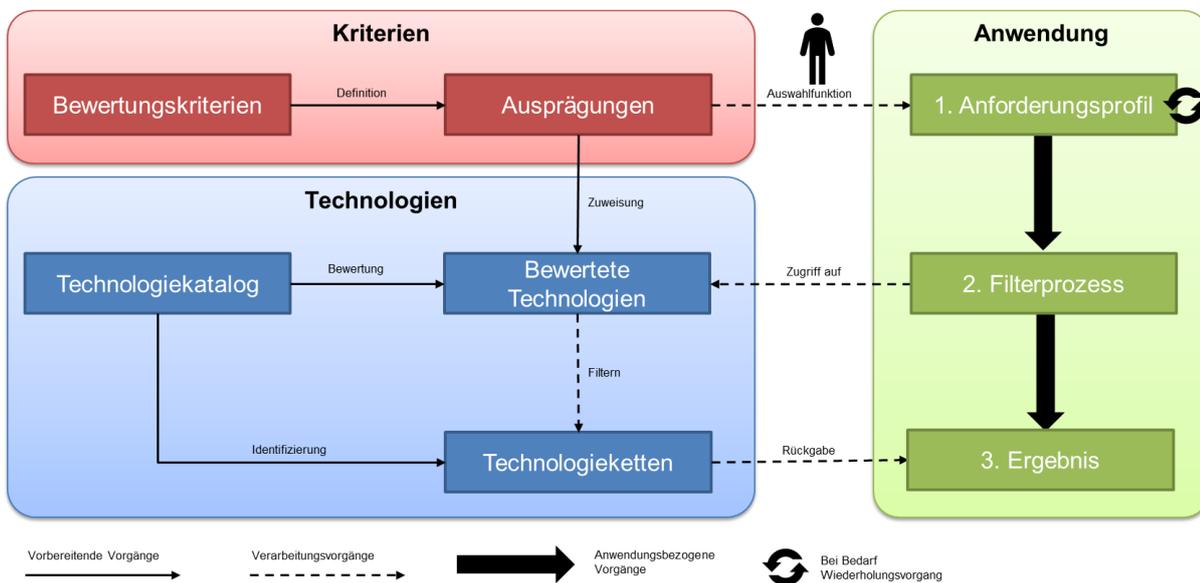


Abbildung 1: Darstellung der Methodik

Teil 2: Evaluation des Ontologiekonzeptes zur Beschreibung des Digitalen Schattens der Logistikprozesse auf der Baustelle

Eine Ontologie legt Wissen formal zum Austausch zwischen Diensten und Prozessen ab und stellt ein Netzwerk von Informationen mit logischen Relationen dar. Basierend auf bisherige Forschungsarbeiten wird a) das erlangte Wissen über Logistikprozesse auf der Baustelle (Informationsflüsse, Ressourcen, etc.) sowie b) das Wissen über die (teil-)automatisierte Datenerfassung auf der Baustelle (Technologieketten, Bewertungskriterien, etc.) in Form einer Ontologie abgelegt. Das entwickelte Ontologiekonzept umfasst Klassen, Beziehungen und Objekte, die für die Entwicklung eines semantischen Modells zur Beschreibung eines Digitalen Schattens notwendig sind. In Abbildung 2 ist das Ontologiekonzept dargestellt.

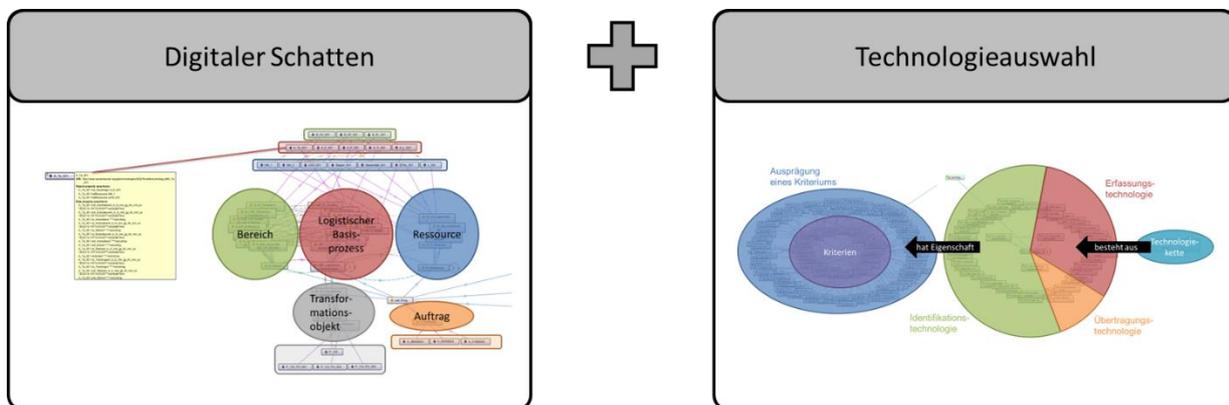


Abbildung 2: Ontologiekonzept

Nachfolgende Evaluationskriterien beziehen sich im **Teil 1** zum einen auf die allgemeine Methodik sowie auf die ausführbare Anwendung in Microsoft Excel und im **Teil 2** auf das gesamte Ontologiekonzept. Bitte bewerten Sie die Methodik sowie die Anwendung mit hoch, mittel oder gering. Wenn Sie keine Bewertung vornehmen möchten, haben Sie die Möglichkeit, keine Angabe (k. A.) auszuwählen. Anmerkungen z. B. zu ihrer Auswahl können Sie gerne in dem dafür vorgesehen Feld festhalten.

Bei Fragen kontaktieren Sie gerne Herrn Vössing:

Wir danken Ihnen für Ihre Teilnahme an der Evaluation.

Mit freundlichen Grüßen

Ihr dataject-Team

Teil 1: Evaluationsbogen für die Methodik und Anwendung

Kriterium	Definition	Hoch	Mittel	Gering	k. A.
Methodik					
Durchgängigkeit	Ununterbrochene Nutzung der Methode	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Transparenz und Nachvollziehbarkeit	Rückverfolgbarkeit der Ergebnisse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vollständigkeit	Ausreichendes Vorhandensein von Ergebnissen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Richtigkeit	Übereinstimmung der Ergebnisse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nützlichkeit	Grad der Vorteilhaftigkeit, die die Methode mit sich bringt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Flexibilität und Erweiterbarkeit	Beschreibt, in welchem Umfang die Methode angepasst/ergänzt werden kann	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anwendung					
Zeitaufwand	Verwendungsdauer der Methode	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Zufriedenheit	Übereinstimmung bestimmter Erwartungen an die Methode	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Praktikabilität	Vorteilhafte Nutzung der Methode	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Qualität der Ergebnisse	Gibt an, in welchem Maß die Methode den bestehenden Anforderungen entspricht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bemerkung:

Teil 2: Evaluationsbogen für das Ontologiekonzept

Kriterium	Definition	Hoch	Mittel	Gering	k. A.
Vollständigkeit	Ausreichendes Vorhandensein von Ergebnissen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Verständlichkeit	Klarheit, welche durch die Ontologie vermittelt wird	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Genauigkeit	Maß, in dem die erfassten Daten die Eigenschaften in der realen Welt abbilden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Plausibilität	Inhaltlich richtige Wiedergabe des real verfügbaren Informationsangebots	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Flexibilität und Erweiterbarkeit	Beschreibt, in welchem Umfang die Ontologie angepasst/ergänzt werden kann	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Transparenz und Nachvollziehbarkeit	Rückverfolgbarkeit der Ergebnisse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nützlichkeit	Grad der Vorteilhaftigkeit, die die Ontologie mit sich bringt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bemerkung:

Anhang M: Anforderungen als User-Stories

Funktionale Anforderungen ohne Bedingungen

Nr.	Name	User-Story
1	Funktion wählen	Als Anwender möchte ich unbedingt eine der Funktionen Technologieauswahl, Dateneingabe und Datenausgabe auswählen, um den Nutzungsumfang auf einen Funktionsbereich einzuschränken.
2	Login-Funktion	Als Anwender möchte ich unbedingt ein Login und Logout durchführen, um meinen Account zu nutzen.
3	Passwort zurücksetzen	Als Anwender möchte ich unbedingt mein Passwort zurücksetzen können, um die Sicherheit des Accounts und deren Daten zu gewährleisten.
4	Laden von Profildaten	Als Anwender möchte ich unbedingt die Möglichkeit haben, nach erfolgreichem Login, meine Profildaten aus der Ontologie/BIS zu laden und anzuzeigen, um meine Profildaten nutzen zu können.
5	Fallbezogene Ansichtsmaske	Als Anwender möchte ich unbedingt fallbezogene Ansichtsmasken in Abhängigkeit meines Mitarbeiterprofils zu laden, um eine Datenauswertung vorzunehmen.
6	Dateneingabe im Frontend des Demonstrators	Als Anwender möchte ich unbedingt Dateneingaben im Frontend des Demonstrators laden, um Veränderungen der Datensätze durchführen zu können.
7	Daten aus SPARQL-Abfragen	Als Anwender möchte ich unbedingt via DPARQL-Abfragen Daten aus der Ontologie mithilfe von Fuseki abfragen, um eine Analyse der Daten vorzunehmen.
8	Einsicht in Technologiekatalog	Als Anwender möchte ich unbedingt die Möglichkeit haben eine Einsicht in den Technologiekatalog zu bekommen, um mir einen Überblick über die Technologien zu verschaffen.
9	Einsicht in Technologiekettenkatalog	Als Anwender möchte ich unbedingt die Möglichkeit haben eine Einsicht in den Technologiekettenkatalog zu bekommen, um mir einen Überblick über die Technologieketten zu verschaffen.
10	Anforderungsprofil füllen	Als Anwender möchte ich unbedingt ein bereitgestelltes Anforderungsprofil ausfüllen können, um meine Daten zu vervollständigen.
11	Anforderungsprofil füllen	Als Anwender möchte ich unbedingt mein vollständiges Anforderungsprofil speichern können, um jederzeit auf meine Daten zurückzugreifen können.
12	Anforderungsprofil anlegen	Als Anwender möchte ich unbedingt eine Bereitstellung eines leeren Anforderungsprofils/Rahmens/Gerüst, um neue Profile anlegen zu können.
13	Verarbeitung des Anforderungsprofils	Als Anwender möchte ich unbedingt technisch mögliche Technologieketten mit den zugehörigen Steckbriefen ausgeben können, um
14	Filtern der Technologieketten	Als Anwender möchte ich unbedingt einen Filterprozess für bestimmte Kriterien ausführen können, um eine quantitative Arbeit zu gewährleisten.
15	Anzeigen bei mehrfachen Ergebnissen	Als Anwender möchte ich unbedingt alle nach dem Filtern übrigen Technologieketten angezeigt bekommen, um eine Datenanalyse vorzunehmen
16	Auswahl bei mehrfachen Ergebnissen	Als Anwender möchte ich unbedingt manuell eine Auswahl einer Technologiekette aus dem Pool der Ketten, die nach dem Filterprozess ausgegeben werden, durch Anklicken einer Checkbox auszuwählen, um eine Bewertung der Daten durchzuführen
17	Speicherfunktion	Als Anwender möchte ich unbedingt eine Bewertung der Suchparameter und der Ergebnisse speichern können, damit diese Daten nicht verloren gehen.
18	Bewertung der Technologiekette	Als Anwender möchte ich unbedingt eine Bewertung der Technologiekette vornehmen können, um diese Kette analysieren zu können
19	Übersicht aller bisherigen gespeicherten Anfragen	Als Anwender möchte ich unbedingt eine Anzeige der gespeicherten Suchparameter und Ergebnisse mit Bewertung in chronologischer Reihenfolge auf einer Übersichtsseite, um meine Ergebnisse im Überblick zu haben.
20	Details zur Kette ausgeben	Als Anwender möchte ich unbedingt Details zu Technologieketten angezeigt bekommen
21	Dateinamen der Kette umbenennen	Als Anwender möchte ich unbedingt den Dateinamen der Kette umbenennen können, um meine Daten besser ordnen zu können.
22	Neue Technologie hinzufügen	Als Anwender möchte ich unbedingt neue Technologien im Technologiekatalog hinzufügen können, um aktuelle Trends zu nutzen.
23	neue Technologiekette erstellen	Als Anwender möchte ich unbedingt neue Technologieketten mit der neu hinzugefügten Technologie manuell erstellen, um individuelle Anpassungen vorzunehmen.
24	neue Technologieketten auswählen	Als Anwender möchte ich unbedingt durch Anklicken der Checkboxes, die Technologieketten, die neu in den Technologiekettenkatalog übernommen werden sollen, auswählen, um schnell und fehlerfrei vorzugehen.

25	neue Technologiekettenkatalog hinzufügen	Als Anwender möchte ich unbedingt durch Klicken des Bestätigungsbuttons die zuvor ausgewählten Technologieketten in den Technologiekettenkatalog zu überführen, um eine Korrektur vorzunehmen.
26	Ergebnis des Filterprozesses in Ontologie speichern	Als Anwender möchte ich unbedingt das ausgefüllte Anforderungsprofil und das ausgewählte Ergebnis (Technologiekette) an die Ontologie übergeben, um die weitere Bearbeitung sicherzustellen.
27	Kette als Schablone kennzeichnen	Als Anwender möchte ich unbedingt eine Kette nach erfolgreichem Praxistest/ Anwendung in der betrieblichen Praxis als Technologieschablone kennzeichnen, um den Vorgang als bearbeitet zu markieren.
28	Betriebliches Informationssystem öffnen (hier: Excellisten öffnen)	Als Anwender möchte ich unbedingt über einen Button das zu öffnende betriebliche Informationssystem auswählen und öffnen, um zügig dorthin zu gelangen.
29	Auswahl: welche Daten sollen in die Ontologie übernommen werden?	Als Anwender möchte ich unbedingt Daten aus dem BIS importieren, um eine manuelle Erfassung zu vermeiden.
30	Übersicht zur Datenprüfung I	Als Anwender möchte ich unbedingt die aus dem BIS übernommenen Daten noch einmal tabellarisch anzeigen, um eine Prüfung durchführen zu können.
31	Übersicht zur Datenprüfung II	Als Anwender möchte ich unbedingt die aus dem BIS übernommenen Daten noch einmal tabellarisch bestätigen, um die Kontrolle zu dokumentieren.
32	Makro Import der Daten in die Ontologie	Als Anwender möchte ich unbedingt einen Datenimport via Makro aus den Excellisten (später: BIS) in die Ontologie durchführen, um das Arbeiten zu vereinfachen.
33	Auswahl Template (Bsp.: Datenerfassung)	Als Anwender möchte ich unbedingt mein gewünschtes Template zur Dateneingabe auswählen, damit meine Dateneingabe keine Hürde für mich darstellt.
34	Oberfläche, die eine Dateneingabe erlaubt (Bsp.: AZ-Erfassung)	Als Anwender möchte ich unbedingt meine Daten manuell in die Benutzeroberfläche eingeben können, damit meine Daten genutzt werden können.
35	manuelle Eingabe korrigieren	Als Anwender möchte ich unbedingt manuelle Eingaben korrigieren können, damit meine Daten nicht falsch angegeben werden.
36	Daten speichern	Als Anwender möchte ich unbedingt manuell eingegebene Daten speichern können, damit diese nicht verloren gehen.
37	Sensor anlegen	Als Anwender möchte ich unbedingt neue Sensoren anlegen können, um automatische Dateneingaben von Sensoren auszuführen.
38	Sensor Verknüpfen	Als Anwender möchte ich unbedingt Sensoren in der Ontologie anlegen und mit den dazugehörigen Objekttypen verbinden.
39	Datenzugriff	Als Anwender möchte ich unbedingt auf eine Datenbank mit gespeicherten Sensorwerten zugreifen können, um alle Werte auf einem Speichermedium zu haben.
40	AZ-Erfassung je Mitarbeiter	Als Anwender möchte ich unbedingt meine Arbeitszeiten je Projekt oder Positionsnummer angezeigt haben, um meine Stunden für jeweilige Projekte besser im Überblick zu haben.

Nicht-funktionale Anforderungen bezogen auf Prozesse

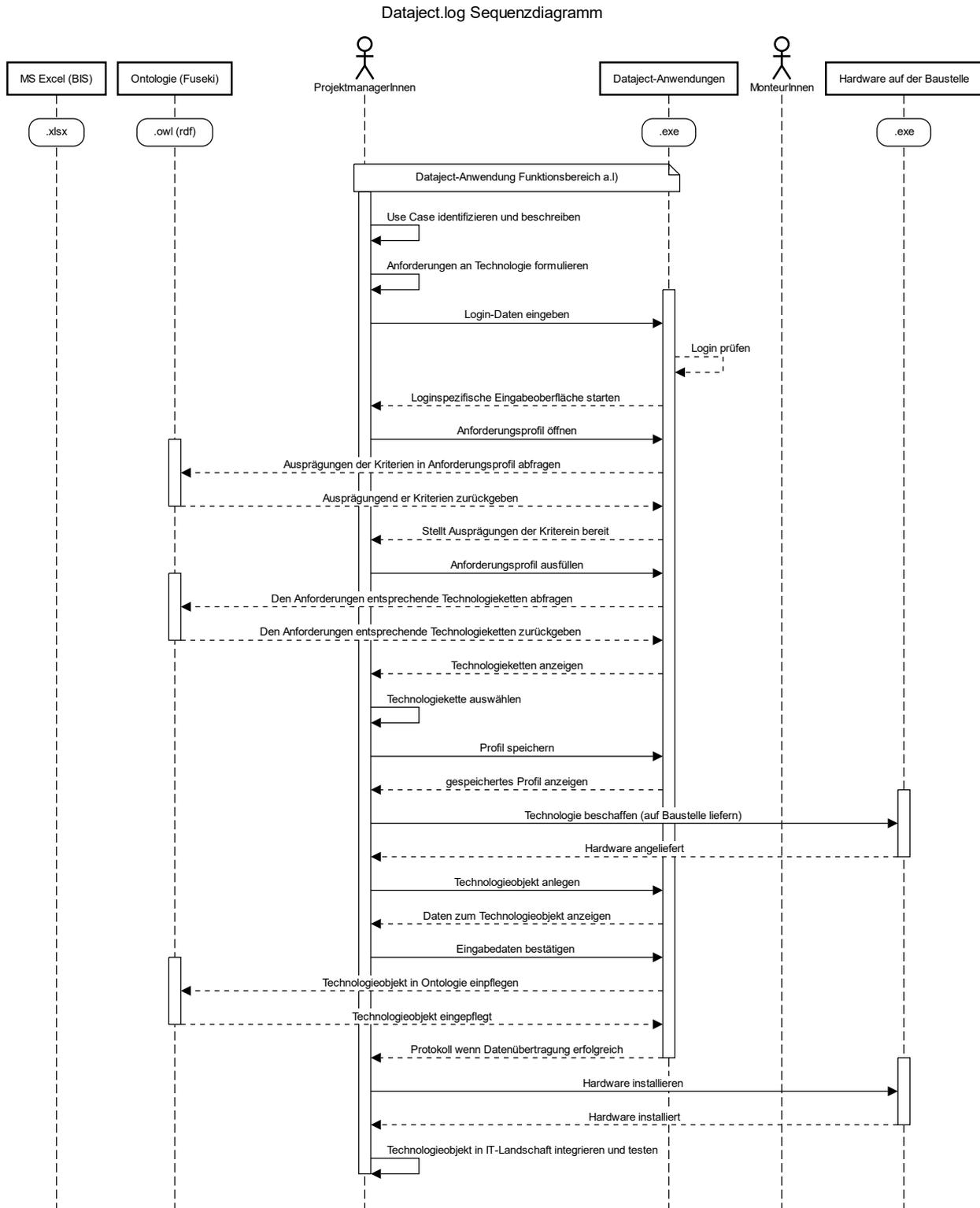
Nr.	Name	User-Story
1	Manipulationssicherheit	Als Anwender möchte ich unbedingt die Sicherheit, dass die hinterlegte Berechnungslogik nicht manipuliert werden kann.
2	Schulung	Als Anwender möchte ich bei der Einführung des Plug-ins einmal geschult werden.
3	Bereitstellung geeigneter Hardware	Als Anwender 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 Ontologie-Server arbeiten können.

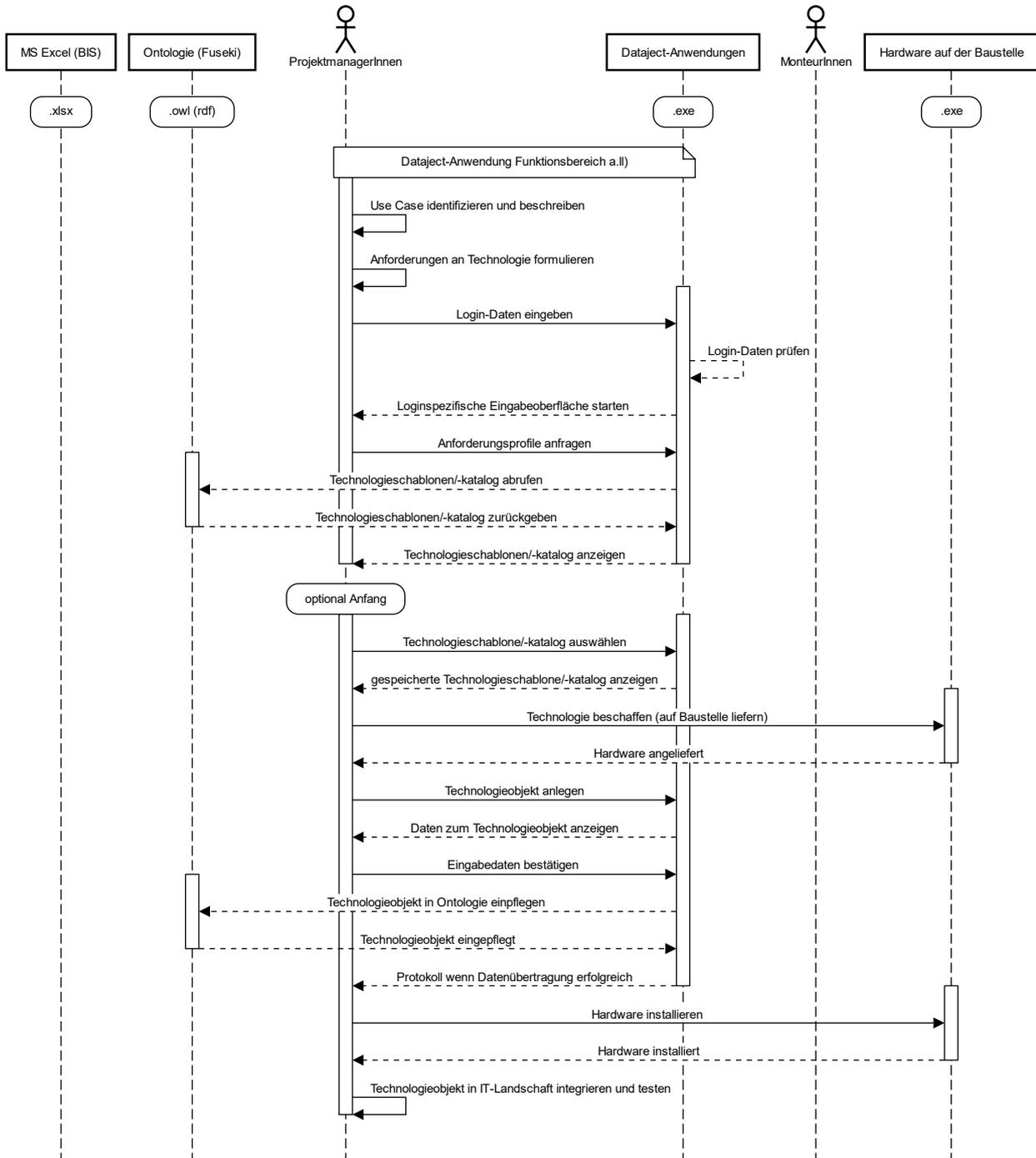
Anhang N: Sequenzdiagramme

Funktionsbereich a.I):



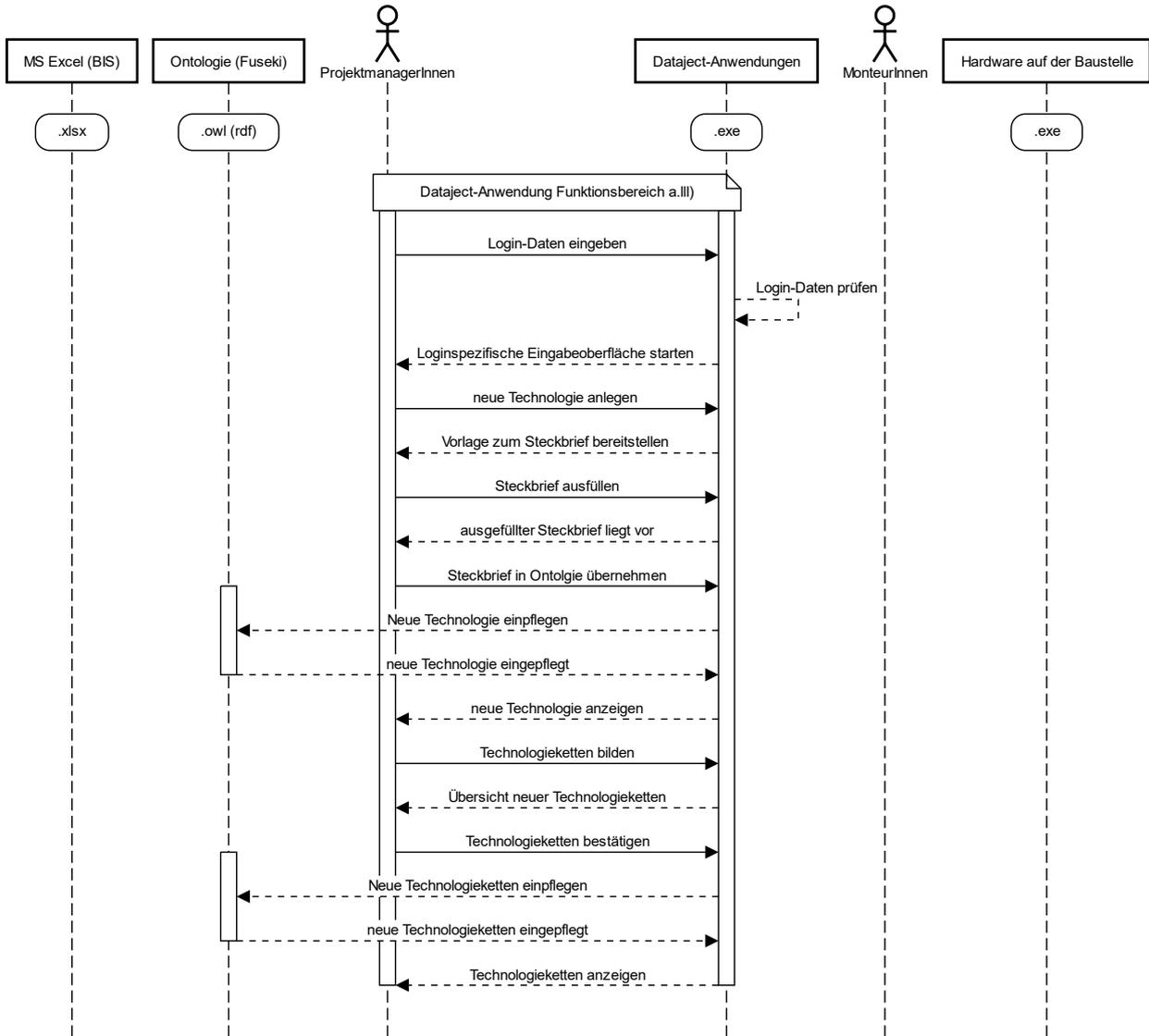
Funktionsbereich a.II):

Dataject.log Sequenzdiagramm



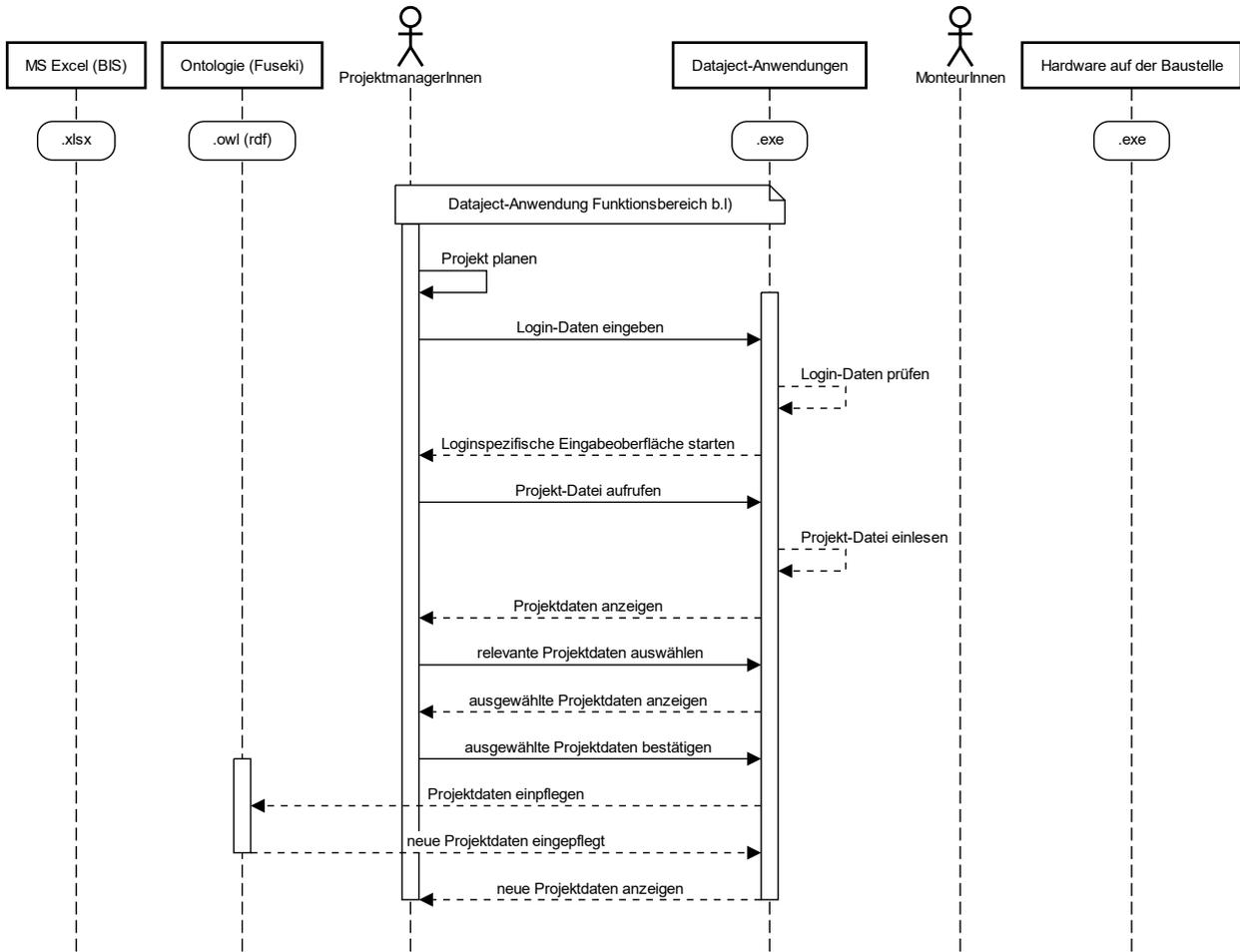
Funktionsbereich a.III):

Dataject.log Sequenzdiagramm



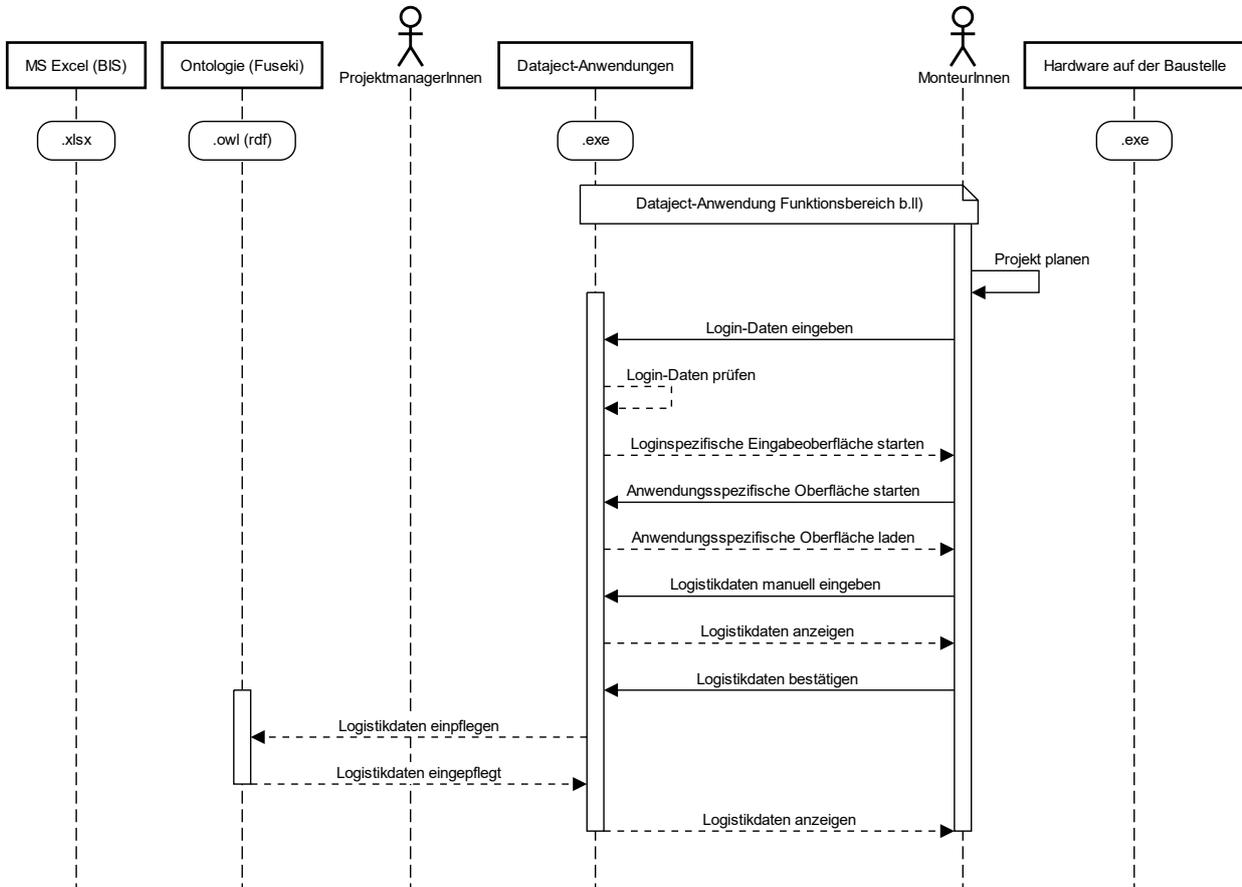
Funktionsbereich b.I):

Dataject.log Sequenzdiagramm



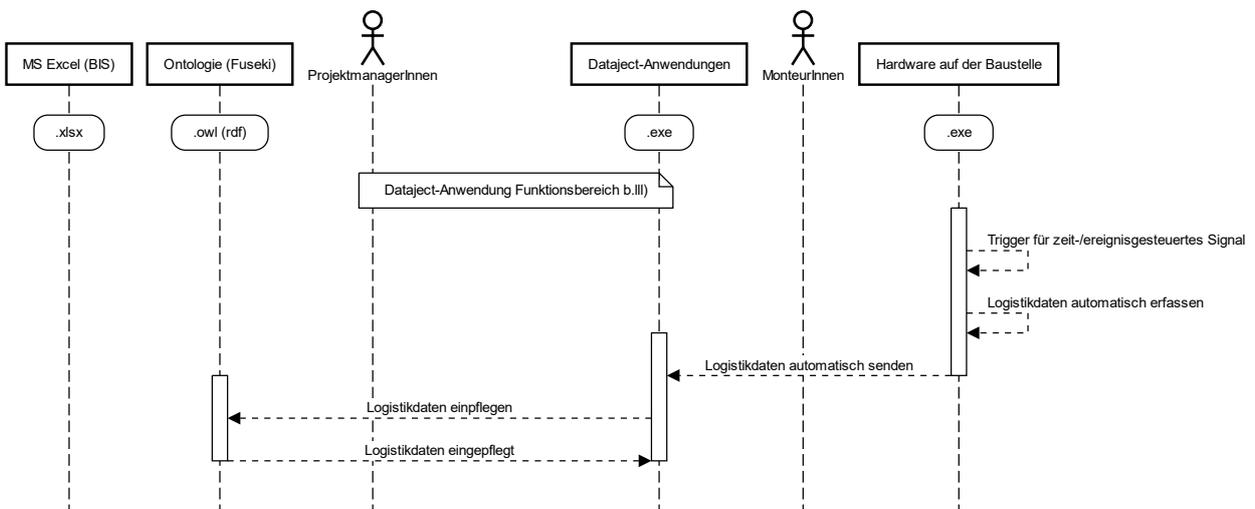
Funktionsbereich b.II):

Dataject.log Sequenzdiagramm



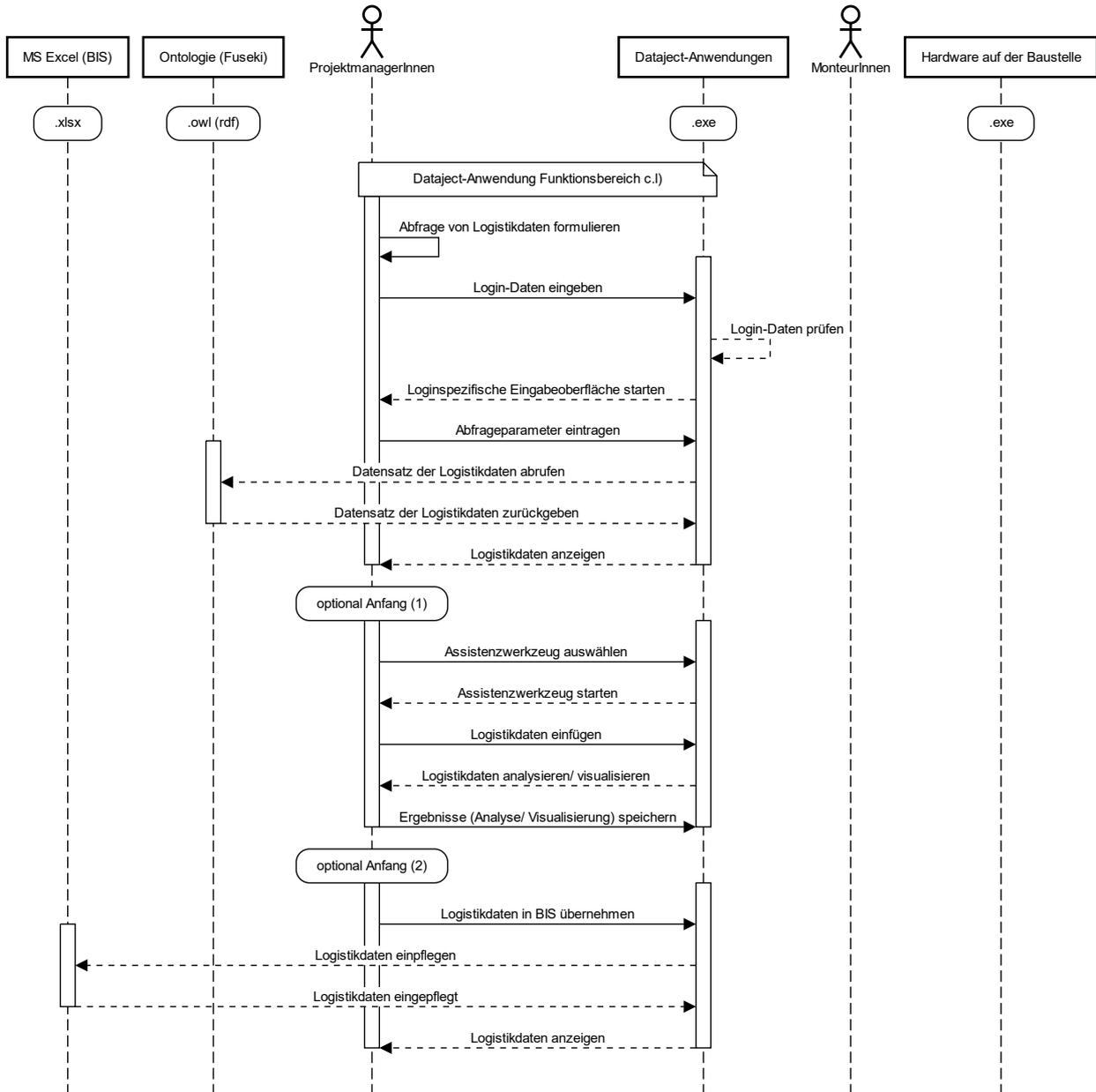
Funktionsbereich b.III):

Dataject.log Sequenzdiagramm



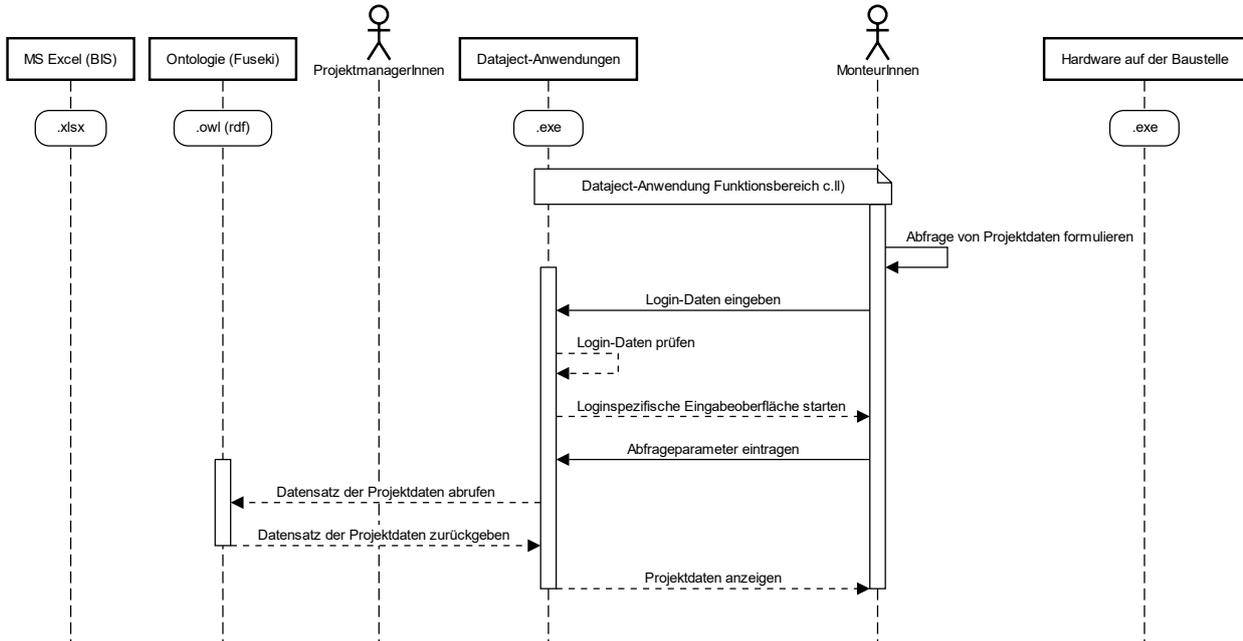
Funktionsbereich c.I):

Dataject.log Sequenzdiagramm



Funktionsbereich c.II):

Dataject.log Sequenzdiagramm



Anhang O: Mockup

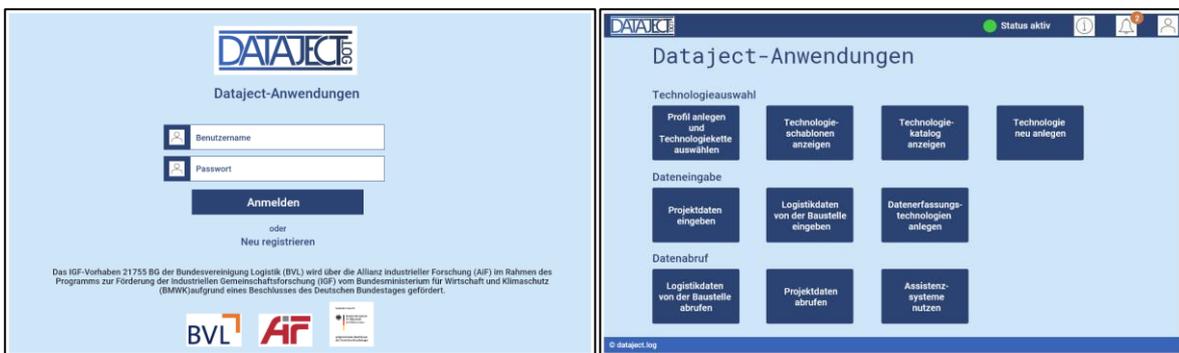
Das vollständige Mockup ist abrufbar unter folgendem Link:

<https://xd.adobe.com/view/7b6fbba3-b747-48b1-9955-7fdfa30b554e-2e3c/>

Eine Anleitung zu Anwendung der Demonstrationsplattform ist abrufbar unter folgendem Link:

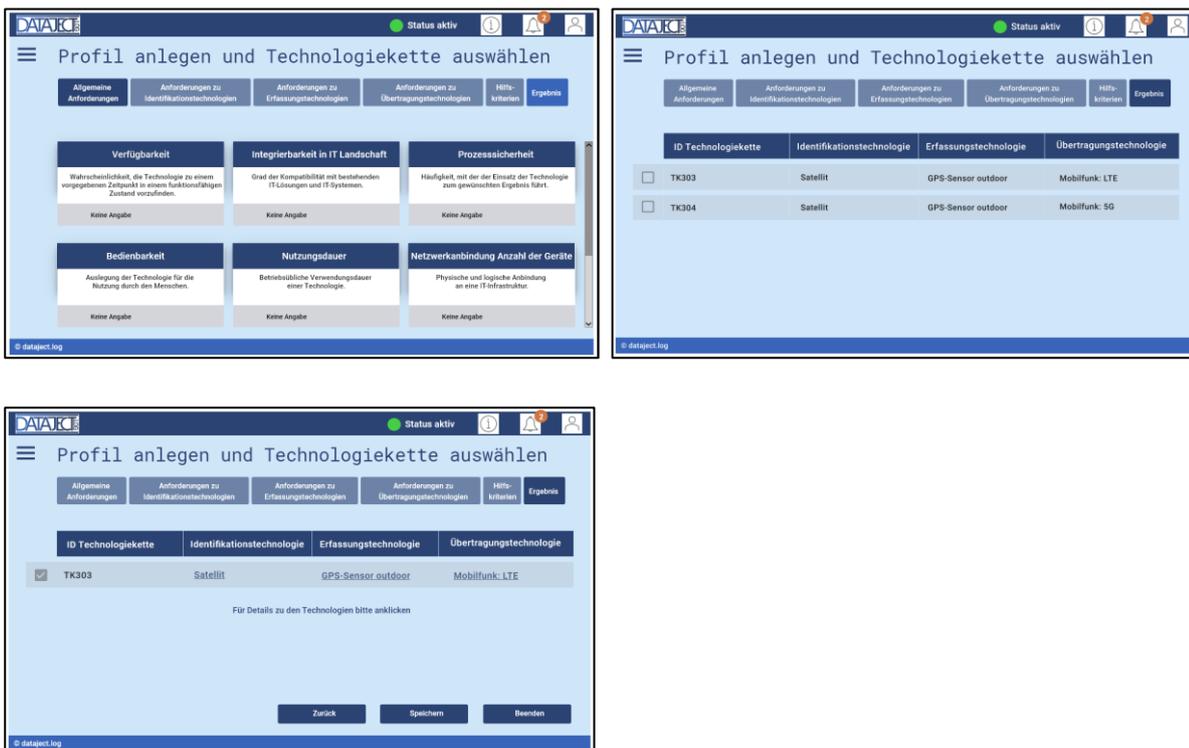
<https://www.uni-kassel.de/forschung/datajectlog/publikationen-und-vortraege>

Login und Startseite

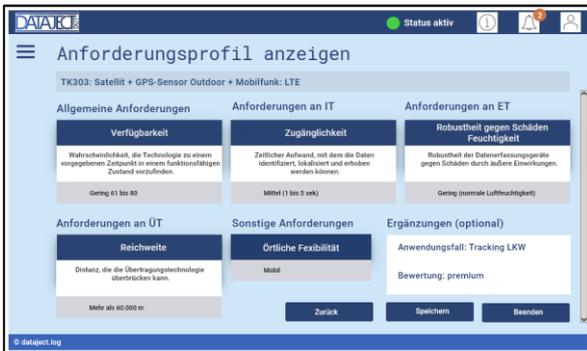


Funktionsbereich a) Technologieauswahl

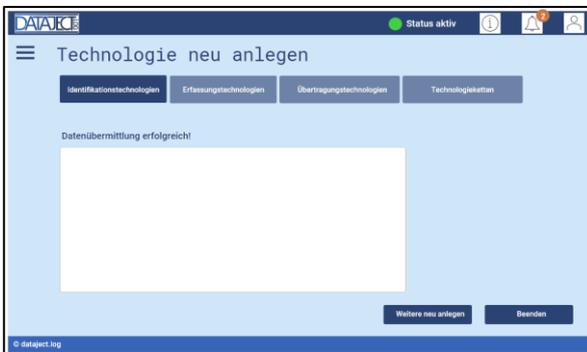
a.) Profil anlegen und Technologiekette auswählen



a.II) Technologieschablonen anzeigen

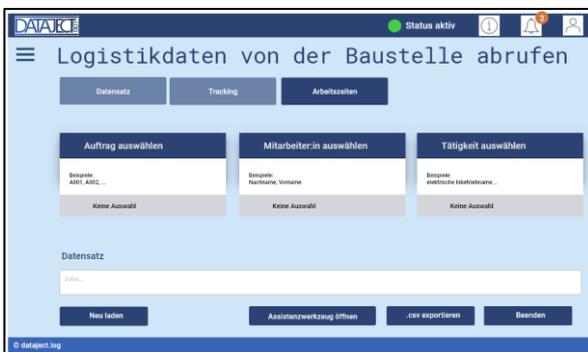
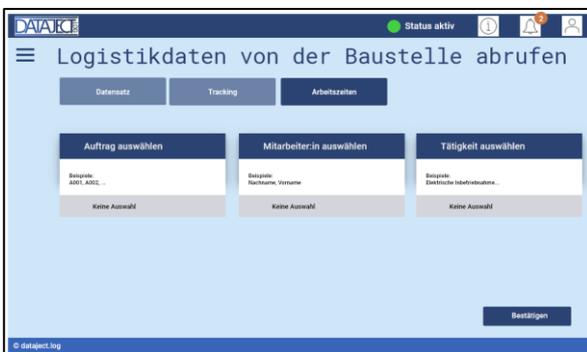
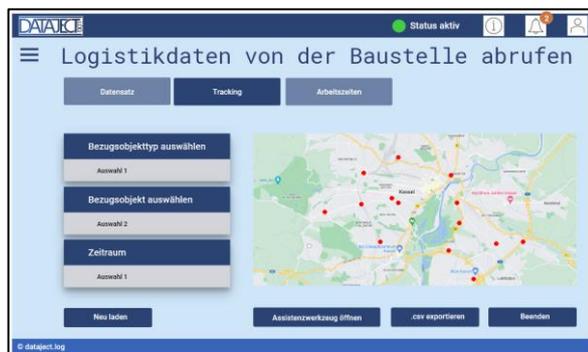
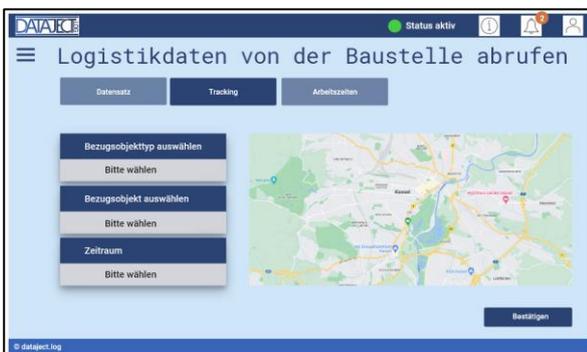
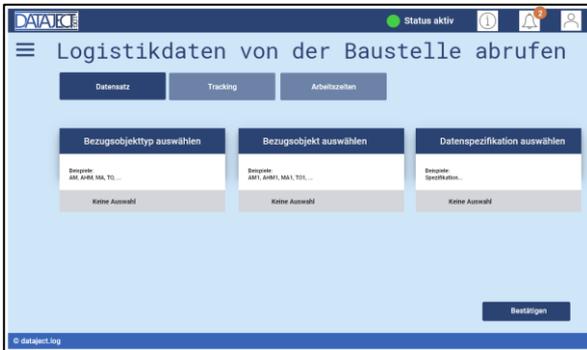


a.III) Technologiekatalog anzeigen

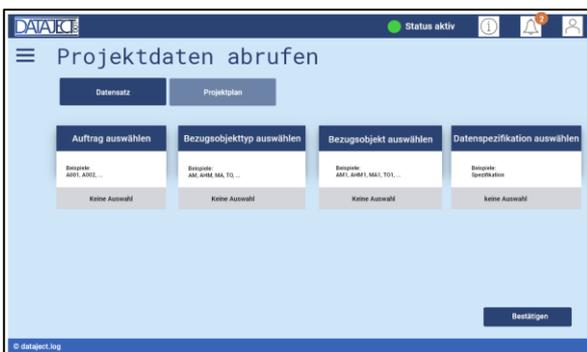


Funktionsbereich c) Datenabruf

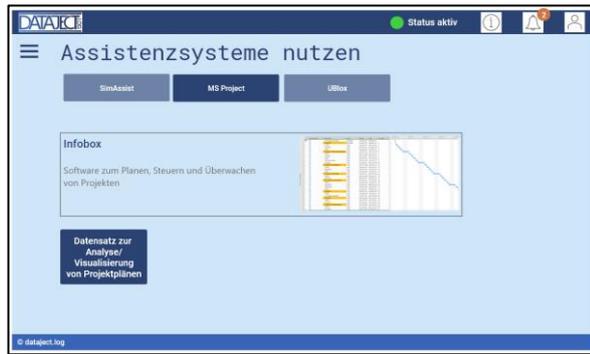
c.I) Logistikdaten von der Baustelle abrufen



c.II) Projektdaten abrufen



c.III) Assistenzsysteme nutzen



Anhang P: Evaluationsbogen Demonstrationsplattform

dataject.log: Evaluation der Demonstrationsplattform

Sehr geehrtes Mitglied des Projektbegleitenden Ausschusses,

das Forschungsprojekt „dataject.log - Entwicklung eines semantischen Modells zur Beschreibung eines Digitalen Schattens der Logistikprozesse im Maschinen- und Anlagenbau zur Verwendung im Projektmanagement“ endet am 31.05.2023 und befindet sich in der Ergebnisevaluation. Wir freuen uns, Ihnen heute unsere Demonstrationsplattform vorstellen zu können und danken Ihnen für Ihre Unterstützung während der Entwicklung der Projektergebnisse.

Zur Evaluation der Demonstrationsplattform haben wir einen Evaluationsbogen vorbereitet. Dieser wird ca. 20 min Ihrer Zeit in Anspruch nehmen und gliedert sich in fünf Abschnitte mit den Schwerpunkten:

- Teil 1: Ziel
- Teil 2a: Umgebung der Demonstrationsplattform
- Teil 2b: Umgebung des semantischen Modells
- Teil 3: Struktur
- Teil 4: Aktivität
- Teil 5: Entwicklung

Für die Beantwortung der nachfolgenden Fragen stellen wir Ihnen eine Skala von 1 bis 5 zur Verfügung, wobei der Minimalwert „1“ eine Bedeutung von „sehr gering“ / „sehr unzufrieden“ / „trifft nicht zu“ und der Maximalwert „5“ eine Bedeutung von „sehr hoch“ / „zur vollsten Zufriedenheit“ / „trifft voll zu“ haben soll.

Wenn Sie keine Angabe zu einer Fragestellung machen können, kreuzen Sie bitte „keine Angabe“ an.

Den Fragen folgen Freitextfelder mit der Möglichkeit, Einschätzungen zu begründen.

Wir danken Ihnen für Ihre Teilnahme an der Evaluation unserer Demonstrationsplattform,

Ihr dataject-Team

Kontakt:

Wibke Kusturica, M.Sc. | E-Mail: wibke.kusturica@fh-zwickau.de | Tel.: 0375/536 3508

Deike Gliem, M.Sc. | E-Mail: deike.gliem@uni-kassel.de | Tel.: 0561/804 2912



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Weiter

Der vollständige Evaluationsbogen ist abrufbar unter folgendem Link:

<https://www.uni-kassel.de/forschung/datajectlog/publikationen-und-vortraege>

Anhang Q: Evaluationsbogen Projektevaluation

dataject.log: Projektevaluation

Sehr geehrtes Mitglied des Projektbegleitenden Ausschusses,

das Forschungsprojekt „dataject.log - Entwicklung eines semantischen Modells zur Beschreibung eines Digitalen Schattens der Logistikprozesse im Maschinen- und Anlagenbau zur Verwendung im Projektmanagement“ endet am 31.05.2023 und befindet sich in der Projektevaluation.

Zur Projektevaluation haben wir einen Evaluationsbogen vorbereitet. Dieser wird ca. 15 min Ihrer Zeit in Anspruch nehmen und gliedert sich in drei Abschnitte mit den Schwerpunkten:

- Teil 1: Projektziel und -verlauf
- Teil 2: Wissenstransfer über Sitzungen des Projektbegleitenden Ausschusses
- Teil 3: Wissenstransfer über Einzeltermine

Für die Beantwortung der nachfolgenden Fragen stellen wir Ihnen eine Skala von 0 bis 5 zur Verfügung, wobei der Minimalwert „1“ eine Bedeutung von „sehr unzufrieden“ und der Maximalwert „5“ eine Bedeutung von „zur vollsten Zufriedenheit“ haben soll.

Wenn Sie keine Angabe zu einer Fragestellung machen können, kreuzen Sie bitte „keine Angabe“ an.

Den Fragen folgen Freitextfelder mit der Möglichkeit, Einschätzungen zu begründen.

Wir danken Ihnen für Ihre Teilnahme an der Projektevaluation,
Ihr dataject-Team

Kontakt:

Wibke Kusturica, M.Sc.

E-Mail: wibke.kusturica@fh-zwickau.de

Tel.: 0375/536 3508

Deike Gliem, M.Sc.

E-Mail: deike.gliem@uni-kassel.de

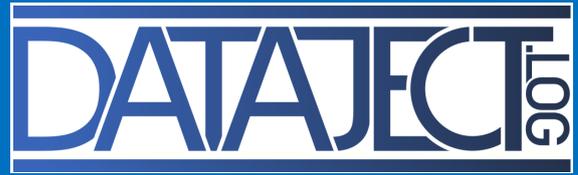
Tel.: 0561/804 2912



Weiter

Der vollständige Evaluationsbogen ist abrufbar unter folgendem Link:

<https://www.uni-kassel.de/forschung/datajectlog/publikationen-und-vortraege>



www.dataject.de

