

Eingehende Darstellung

Lehrstuhl für Produktionssysteme

Projekttitle:	Digitale Anlagenmodellierung mit neutralen Datenformaten
Kurzbezeichnung:	DIAMOND , Digitalisierung der Fahrzeughersteller und Zulieferindustrie KoPa 35c Modul a2
Förderkennzeichen:	13IK011P
Laufzeit:	01.11.22 – 31.10.25
Zuwendungsempfänger:	Lehrstuhl für Produktionssysteme, Ruhr-Universität Bochum
Ansprechpartner:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Kuhlenkötter, +49 234 32-26310, kuhlenkoetter@lps.rub.de, Dr.-Ing. Alfred Hypki, +49 234 32-26304, hypki@lps.rub.de, Alexander Große-Kreul, Tommy Luong, Tobias Drees, Daniel Gorsek, Dennis Ibing



**Finanziert von der
Europäischen Union**
NextGenerationEU

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Ausführliche Darstellung der durchgeführten Arbeiten

Prozessanalyse

Zu Projektbeginn wurden die Engineering-Prozesse des Anlagenentstehungsprozesses eingehend mithilfe der Erstellung von Supplier-Input-Process-Output-Customer Diagrammen (SIPOCs) analysiert. Die Ergebnisse dieser Analyse wurden mit Beteiligten aus allen Prozessphasen, also dem gesamten Wertschöpfungsnetzwerk des DIAMOND-Projektes, gemeinsam detailliert erarbeitet und entsprechend dem aktuellen Stand der Technik in der Anlagenplanung und -konstruktion aufbereitet. Der Lehrstuhl für Produktionssysteme (LPS) hat aktiv an den Diskussionsrunden teilgenommen und die Aufnahme und Beschreibung der einzelnen Prozesse inkl. der genutzten Daten und Datenstrukturen sowie die anschließende Darstellung im Business Process Modelling Notation (BPMN)-Format unterstützt. Hierzu hat der LPS bei der Erstellung der BPMN-Diagramme mitgewirkt und die aufgenommenen Prozessschritte kritisch erörtert und mit den anderen Beteiligten diskutiert. Folgend sind die analysierten Teilprozesse zusammengefasst:

- PPR-Kopplung
- Komponentenbereitstellung
- Gebäudeplanung und TGA
- Layoutplanung
- Materialflussplanung (Ablaufsimulation)
- Virtuelle Inbetriebnahme (ViBN)
- Offline-Programmierung (OLP)
- Roboter Programmierung inkl. Simulation
- SPS-Programmierung
- Mechanische Konstruktion (MCAD)
- Elektrische Konstruktion (ECAD)
- Übergang in Wartung und Betrieb

Ein Auszug einer SIPOC-Analyse findet sich in Abbildung 2.


Lieferant (intern & extern)			Input				Prozess				Output				
Prozess	Rolle	ext.	Objekt	Format	Attribute	Quelle	Rolle	Nr.	Aktivität	Kommentar	Objekt	Format	Attribute	Serie	
Entscheidung über Rahmenbedingungen	Topmanagement Strategische Planer							0	Entscheidung betriebliche Rahmenbedingungen	[Vorphase, in der unterschiedliche Stakeholder involviert sind]	Standortauswahl Produktentscheidung, -portfolio Anforderungen Systemmodell Produktionsprämissen		Varianten Produktionsmenge Qualitätsziele Herstellkosten-Soll Greenfield/Brownfield		
Produktentwicklung	Produktentwickler		Produktspezifikationen Rahmenbedingungen betriebswirtschaftl. Prämissen Produktionsprämissen Zeichnung CAD		Produktbezeichnung, Abmaße, Gewicht, Normangaben, Material, Geometrie, ...		Systeme Engineer/ Basic Engineer [mit Komplexitätsbegrenzung]	1	Entwicklung Prozess-Sicht	Die erforderlichen Fertigungsschritte sind vom Produktentwurf abhängig, deshalb sollte bereits während des Produktentwurfs ein grobes Bild der anzuwendenden Fertigungstechnologien kollaborativ paratextet werden, sodass auch eine frühe Fertigungsprozessicht schon hier als Input zu erwarten ist.	M-BOM (inkl. Start- und Endprodukt, Zwischenprodukte), BOM + PPR-Modell (Prozessablaufplan, Flügelfolge)	TBD z.B. Excel	Produktbezeichnung, Prozessbezeichnung, Normangaben, Prozessschrittzellen (technische Übergangspunkte)		
Prozessenwicklung	Prozessentwickler		E-BOM (Berücksichtigung Eigenproduktion und Veränderung durch Zukaufteile) Entscheidung über Start- und Endprodukt	TBD		2		Entwicklung Ressourcen-Sicht							
Technologie	Technologie		BOM, PPR-Modell Anforderungen & Produktionsprämissen Produktionskennzahlen	TBD	Produktbezeichnung, Prozessbezeichnung, Normangaben, Serien, ...			2.1	Definition von Ressourcentypen für die Prozesse			Entwurf BOR + PPR-Modell	TBD z.B. Excel	Produktbezeichnung, Ressourcentypbezeichnung, Ressourcentypkennzahlen, Schrittzellen	
			Entwurf BOR + PPR-Modell Bestehende Ressourcen inkl. Prozessen zur Weiter- &	TBD	Produktbezeichnung, Prozessbezeichnung, Ressourcenbezeichnung.				3	Ressourcenwahl		BOR + PPR-Modell	TBD z.B. Excel	Produktbezeichnung, Prozessbezeichnung, Ressourcenbezeichnung.	

Abbildung 2: Beispielausschnitt eines SIPOC Diagramms

Die aufgenommenen Ist-Prozesse bilden die Grundlage für eine Verschwendungsanalyse und eine Schwachstellenanalyse, welche nachfolgend auf Basis der SIPOCs erstellt werden konnte. Für sämtliche Prozesse wurden Verschwendungen identifiziert.

Der LPS unterstützte bei der Zusammenfassung der aktuellen Normen und Standards im Rahmen der Verschwendungsanalyse nach LEAN-Methoden und leitete in Diskussionen mögliche Handlungsfelder ab, die zur Eliminierung der Informationslogistischen Verschwendung dienen. Die Ergebnisse wurden gemeinsam festgehalten. Die relevanten Verschwendungsarten sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Übersicht Verschwendungsarten

Verschwendungsart	Beschreibung	Mögliche Ursachen
 V1 Misinformation	Verschwendung kann in der Quantität und Qualität von Daten für den spezifischen Zweck sowie im Prozess der Datenerhebung liegen. Eine nicht an den Bedürfnissen des Kunden orientierte Datenauswahl zieht weitere Arten der Verschwendung hinterher.	<ul style="list-style-type: none"> - unzureichende Bedarfsorientierung - umsetzen von Features ohne Kundenwunsch - keine eindeutige Referenzquelle - manuelle oder teilautomatisierte Datenerfassung
 V2 Wartezeit und Suchen	Das Warten auf Daten, Informationen, Prozesse, Entscheidungen, Softwaretools, Geräte oder Kollegen und Suchaufwand sind Verschwendung.	<ul style="list-style-type: none"> - kein Informationsaustausch - unzureichende Performance von Geräten und Software - Latenzzeiten
 V3 Daten- und Informationstransfer	Bei einer Datenübertragung entsteht kein Mehrwert. Fehlinformationen oder Fehler können durch die Art der Datenübertragung (manuell oder automatisiert) oder die Konvertierung der Daten entstehen.	<ul style="list-style-type: none"> - Medienbrüche im Informationsfluss (z. B. Softwaretools) - Große Emailverteiler ohne Bedarfsorientierung - keine Durchgängigkeit z. B. man. Übernahme von Signallisten - keine Nutzung von offenen Standards OPC-UA, XML, ... - konvertieren von Formaten (z. B. Collada zw. Mesh und Step)
 V4 Inkompatible Workflows	Ein Arbeitsablauf basiert auf einer chronologischen Abfolge verschiedener Aktivitäten. Wenn diese Abläufe unklar oder schwierig zu handhaben sind oder nicht synchronisiert sind, kann es zu Verschwendung kommen.	<ul style="list-style-type: none"> - kompliziertes Datenmanagement, Infrastruktur, IT-Tools - Schnittstellen in Organisation und Prozessen - unklare, intransparente Verantwortlichkeiten u. Schnittstellen - Keine synchrone Prozessabläufe - manuelle Tätigkeiten (Transport, Verarbeitung, ...)
 V5 Bestände und Rückstände	Datensätze, die nicht in einem bestimmten Zusammenhang oder für einen bestimmten (Analyse-)Zweck erhoben und gespeichert werden, sind Verschwendung. Bei der Verarbeitung von Daten entsteht Verschwendung durch nicht oder unvollständig durchgeführte Tätigkeiten.	<ul style="list-style-type: none"> - keine Bedarfsorientierung - keine Aktualisierung/Löschung von Daten - unbearbeitete Aufträge durch ungleiche Auslastung - keine synchronen Prozessabläufe - dokumentierte Anforderungen, die nicht umgesetzt werden
 V6 Übermäßige Bearbeitung	Eine Tätigkeit, die keine Wertschöpfung für den Kunden beinhaltet, gilt als Verschwendung.	<ul style="list-style-type: none"> - fehlende/unzureichende Dokumentation von Arbeitsabläufen - unnötig komplexe Algorithmen lösen einfache Probleme - doppelte Ausführung von Arbeitsschritten - verschlüsselte Übertragung von Daten ohne Notwendigkeit
 V7 Fehler und Nacharbeit	Die Erstellung und Verwendung falscher Daten oder Fehlinterpretationen führen zu falschen Ergebnissen, die durch den Einsatz zusätzlicher Ressourcen korrigiert werden müssen.	<ul style="list-style-type: none"> - fehlende Standards oder Standardeinhaltung - fehlende, unvollständige, falsche, veraltete Daten - unterschiedliche Datenstände - missverstandene Kundenanforderungen - Missinterpretation von Daten
 V8 Fähigkeiten und Potentiale	Die Nichtnutzung von Talenten sowie ein Mangel an Führung oder Qualifikation werden als Verschwendung angesehen. Im übertragenen Sinne stellt auch das ungenutzte Potenzial von Daten und Informationen Verschwendung dar.	<ul style="list-style-type: none"> - nicht genutztes Mitarbeiterwissen - fehlende Qualifizierung, Führung - keine Transparenz zu Prozessbeteiligten, Prozessen, Daten - keine Analyse von ausgewählten Daten - kein Nutzen von Analyseergebnissen zur Optimierung

Anhand der SIPOCs wurden die Prozesse analysiert und die Eingangsdokumente und Ergebnisse festgehalten. Die 422 Eingangs- und Ausgangsdokumente wurden, ebenso wie die handelnden Personen, begutachtet und mit den jeweils vor- oder nachgelagerten Prozessen (SIPOCs) harmonisiert. Der LPS konzentrierte sich bei den Ausarbeitungen auf den MCAD-Bereich und analysierte 82, wobei neben kinematischen Definitionen auch geometrische und Metainformationen der Bauteile berücksichtigt wurden.

Einheitliches Datenmodell

Auf Grundlage der SIPOC-Analyse wurde mit der Erstellung des Datenmodells begonnen. Anhand eines allgemeinen einfachen Beispiels wurden die unterschiedlichen Sichtweisen auf das Datenmodell diskutiert und beschrieben. Abbildung 3 zeigt einen ersten skizzenhaften Entwurf des übergreifenden Datenmodells (CDM). Der LPS beteiligte sich in den Meetings zum Fabrikbetrieb und der Instandhaltung. Hier konnten die Erfahrungen des LPS in Bezug zum Betrieb der lehrstuhleigenen Lern- und Forschungsfabrik (LFF) mit einfließen. In der LFF stehen dafür reale Produktionsanlagen und Roboterzellen zur Verfügung, die im Rahmen von Forschungsprojekten und Auftragsarbeiten regelmäßig zum Einsatz kommen. Da teilweise ebenso ein Digitaler Zwilling einzelner Anlagen vorhanden ist, konnten diese Erfahrungsdaten in den Austausch zur Erstellung des Datenmodells mit einfließen.

schiedenen Wichtigkeitsstufen einsortiert werden konnten. Abschließender Schritt des Arbeitspaketes 2.1 war die Dokumentation aller Ergebnisse und der Transfer der Anforderungen in die Demonstrator Umsetzung.

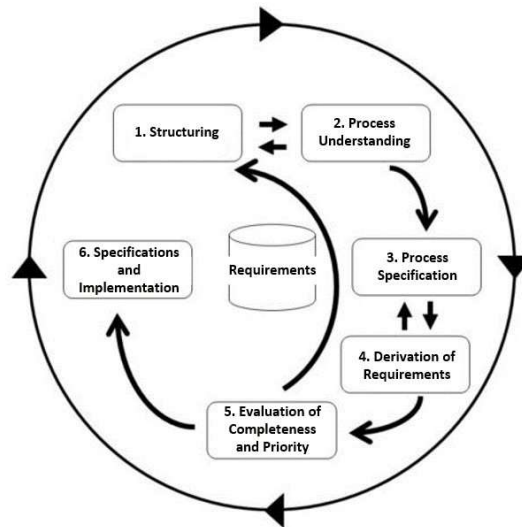


Abbildung 4: Vorgehen zur Erhebung der Anforderungen

In Abbildung 5 ist ein Auszug der erhobenen Anforderungen dargestellt. Die Anforderungen sind dabei in 20 Hauptanforderungen unterteilt, welche im Folgenden dargestellt sind:

- Datenexport aus einem Domänentool
- Datenimport in ein Domänentool
- Datenexport aus dem Backbone
- Datenimport in den Backbone
- Systematik zum Umgang mit geänderten/versionierten Daten (Änderungsmanagement)
- Datenhaltung zur Sicherung der Datenbestände im Backbone
- Systematik zur Freigabe von Daten
- Systematik zur Regelung der Datenkonsistenz
- Systematik zur Erstellung oder Änderung sowie zur Integration von Datenmodellen
- Systematik zum Management von Rollen und Rechten
- Reifegrad TRL (Technology Readiness Level) 4/9 (Technology validated in Lab) für DIAMOND-Prototypen
- Schulungskonzept und Dokumentationen zur Anwendung der DIAMOND-Architektur
- Modularisierung von Bestandteilen der DIAMOND-Architektur
- Analysefunktionen zur Überwachung kritischer Funktionalitäten der DIAMOND-Architektur
- Deployment-Strategie für die DIAMOND-Architektur
- Spezifizierte Schnittstellen
- Einrichten einer Verwaltungseinheit für den DIAMOND Backbone
- Gewährleistung der Sicherheit
- Technologie zum Datentransport
- Intuitives User-Interface

Im Auszug aus der Anforderungsliste findet sich neben einer Beschreibung und einem Beispiel Use Case auch eine Priorisierung, die die Wichtigkeit der Anforderung repräsentiert.

2.1 Importfunktion des Domänentools zum ereignisgesteuerten Import von DIAMOND-Daten

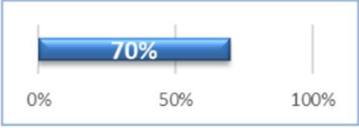
Beschreibung	Priorisierung
<p>Das Domänentool benötigt eine Toolfunktionalität, die den Datenimport in ein Domänentool einleitet und durchführt.</p> <p>Der Importvorgang muss ereignisgesteuert, also nach Bedarf, vom User des Domänentools auslösbar sein.</p> <p>Nötige Hintergrundprozesse (z.B. Prüfung Authentizität, Erreichbarkeit nötiger Dienste etc.) sollten entsprechend automatisiert initiiert werden.</p>	 <p>A horizontal progress bar with a blue fill and white text '70%'. The bar is positioned between vertical tick marks at 0%, 50%, and 100%.</p>
Beispiel Use Case	
<p>Der Importvorgang soll nur dann erfolgen, wenn dies von dem Nutzenden aktiv ausgewählt wurde.</p>	


Abbildung 5: Auszug aus dem Anforderungskatalog

Der LPS war aktiv für die Organisation der Expertendiskussionen zur Erstellung der Anforderungsliste verantwortlich. Dafür wurde die in Abbildung 5 auszugsweise dargestellte Liste erarbeitet, welche auf der DIAMOND Homepage des LPS in voller Ausführung heruntergeladen werden kann⁸. Zusätzlich fand gemeinsam mit der OVGU eine wissenschaftliche Aufbereitung der Ergebnisse statt. Zum einen ist das Paper „Evaluation Methodology for Selecting Data Exchange Technologies for Plant Design Processes“⁹ auf der CIRP CMS 2024 in Portugal vorgestellt worden. Dabei ging es um eine Methode zur Auswahl einer Datenaustauschtechnologie im Rahmen des Anlagenentstehungsprozesses. Zum anderen ist die Veröffentlichung „Objective Method-Based Requirement Gathering for Digital Data Logistics Processes in Industrial Projects“¹⁰ auf der ETFA 2024 präsentiert worden. Es wurde die objektive Erfassung von Anforderungen im Kontext von digitalen Logistikprozessen vorgestellt, die im Rahmen der zuvor erwähnten Anforderungserhebung zum Einsatz gekommen ist. Die Vorstellungen beider Paper führte zu einer Erhöhung der wissenschaftlichen Reichweite des DIAMOND-Projektes.

Datenaustausch

Basierend auf der Anforderungserhebung konnten unterschiedliche Szenarien erarbeitet werden, wie die Daten innerhalb des Engineering Prozesses ausgetauscht werden. Anhand der Matrix aus Tabelle 2 wurde das Szenario 8 als ein komplexes Szenario für den Datenaustausch mit Backbone ausgewählt, welches für die weitere Betrachtung der Anforderungen und des Aufbaus des Systems zu berücksichtigen war. Der LPS wirkte in den Diskussionen zu den Datenaustauschszenarien mit und extrahierte die relevanten Anforderungen für das AP 2.1. In Tabelle 2 sind alle identifizierten Datenaustauschszenarien dargestellt.



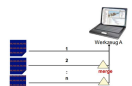




Tabelle 2: Szenarien im Datenaustausch

#	Szenario im DIAMOND
1	<p>Einfacher Export</p>  <p>A diagram showing a laptop icon labeled 'Werkzeug A' with a right-pointing arrow leading to a blue square icon.</p>

⁸ <https://www.lps.ruhr-uni-bochum.de/lps/forschung/diamond.html.de>

⁹ DOI zur Veröffentlichung: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.10.217>

¹⁰ DOI zur Veröffentlichung: <https://doi.org/10.1109/ETFA61755.2024.10711125>

2	Wiederholter Export	
3	Einfacher Import	
4	Wiederholter Import	
5	Iterativer Ex- und Import	
6/7	Durchlauf mit Veränderung	
8	Warehouse	
9	Multiple Warehouse	

Für das identifizierte Datenaustauschscenario sind entsprechende Schnittstellen vom Backbone zum Softwaretool unabdingbar. Diese Softwarekomponente, sogenannte APIs, wurden für den Datenaustausch mit dem Backbone im Zuge des TPs 2 spezifiziert. In Abbildung 6 ist die Architektur dieser APIs dargestellt. Darin wird deutlich, dass die APIs an drei verschiedenen Stellen zum Einsatz kommen: Auf Seiten der Komponenten sorgt die API dafür, dass Bibliotheken von Komponenten in den Backbone hochgeladen werden können, sodass diese während des Entwicklungsprozesses über die Tools abgerufen werden können. Die Tools selbst tauschen über die API sämtliche Entwicklungsdaten aus. Dies kann durch eine direkte Einbindung der API in das Tool erfolgen oder durch die Nutzung eines zusätzlichen Tools, welches die filebasierten Informationen der Tools in den Backbone über die API einfügt. Zuletzt dient die API dafür, eine Verwaltungsschale im AASX-Format an den Betrieb extrahieren zu können.

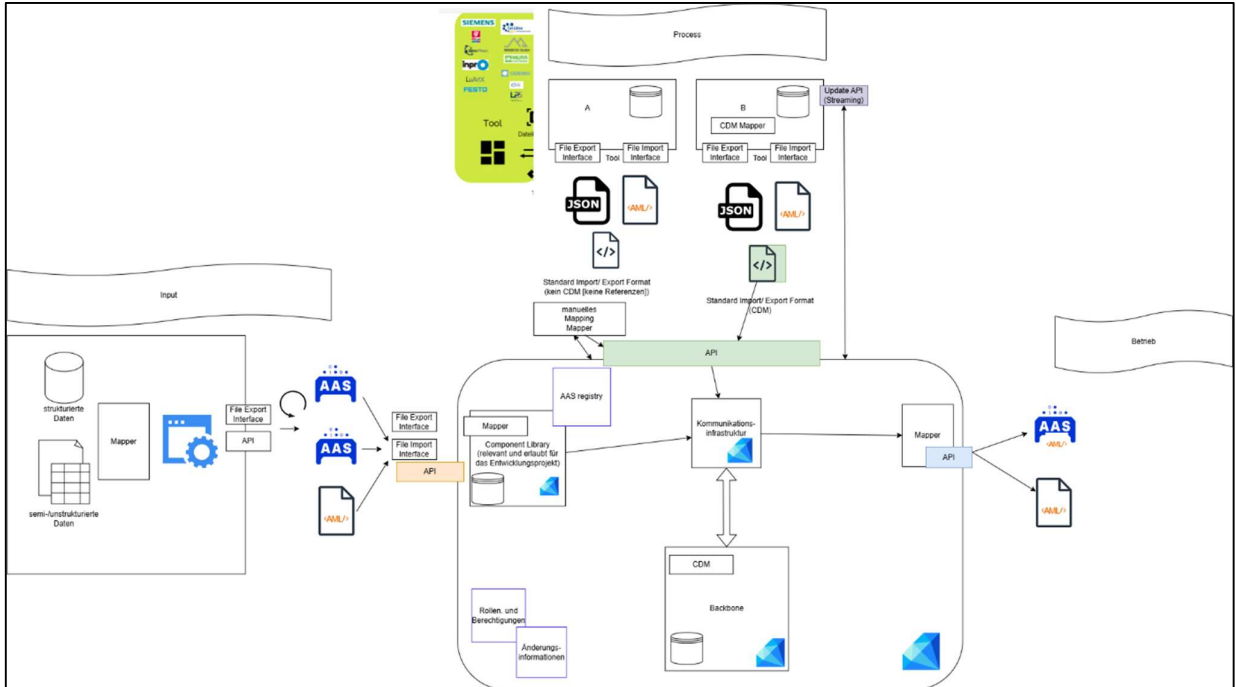


Abbildung 6: Big Picture DIAMOND Backbone mit Datenaustausch

In Abbildung 7 findet sich eine visuelle Darstellung des methodischen Vorgehens zur API-Spezifikation. Zunächst konnten erste Ergebnisse genutzt werden, die auf einer ersten Implementierung seitens Siemens beruhen. Diese konnten in eine schriftliche Dokumentation überführt werden und unter Beteiligung vieler Projektpartner diskutiert und optimiert werden. Diese iterative Annäherung an den Zielzustand ermöglichte die Berücksichtigung einer Vielzahl an Meinungen, die schließlich in einem finalen Spezifikationsdokument zusammengefasst werden konnten.

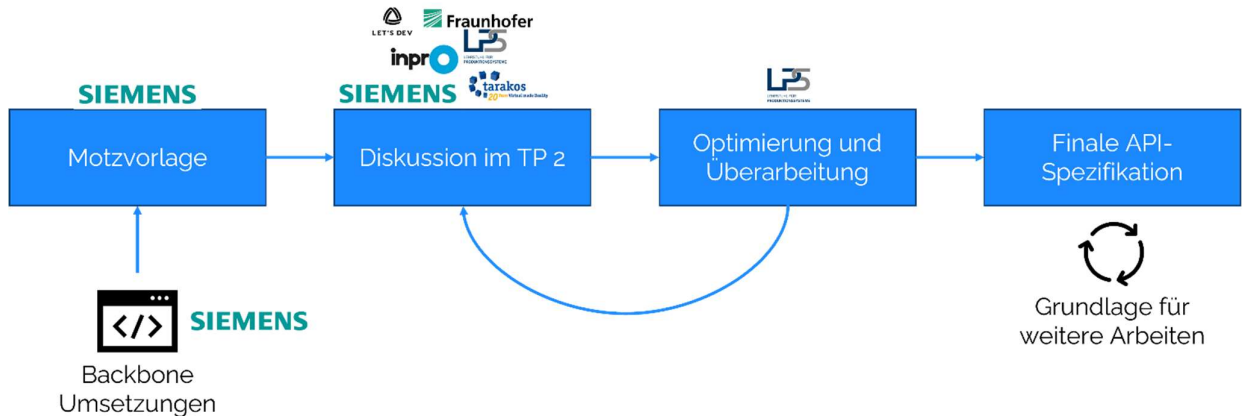


Abbildung 7: Vorgehen zur Spezifikation der DIAMOND API

Insgesamt konnten 32 API-Methoden identifiziert und protokolliert werden, die inhaltlich in sieben verschiedene Kategorien eingeordnet werden können. Namentlich lauten diese *Project*, *Components-Library*, *Library-File*, *Project-File*, *Aspects*, *Objects* und *Type*. Die Dokumentation der API-Methoden beinhaltet neben dem API-Aufruf und der Kategorie auch eine entsprechende Beschreibung, Beispielanfragen und den erforderlichen Request und/ oder die Response. Auszugsweise finden sich in Abbildung 8 die API-Methoden der Kategorie „Project-File“, welche sich aus insgesamt fünf Aufrufen zusammensetzen. Mittels des Befehls „GET / Files / {fileId}“ können beispielsweise Dateien einer bestimmten Instanz mit der entsprechenden ID heruntergeladen werden.

GET / Files / objects / {diamondId}	Liefert alle verfügbaren Informationen zu Dateien einer Instanz mit einer definierten DIAMOND-ID. Befehl liefert unter anderem Ticket-ID der Dateien.	GET / Files / objects / 1b77bc1f-ec89-4d88-813b-dec6bb64a8ce	Response: Liste mit einem Eintrag einer Komponente mit Dateien, File-Ids
GET / Files / {fileId}	Herunterladen einer bestimmten Datei mit einer definierten Ticket-ID einer Instanz. Liefert bspw. eine Handlungsanweisung einer Instanz.	GET / Files / 1b77bc1f-ec89-4d88-813b-dec6bb64a8ce	Response: Download als Binärdatei
POST / Files / objects / {diamondId}	Hochladen einer neuen Datei mit der entsprechenden FileID.	POST / Files / objects / 1b77bc1f-ec89-4d88-813b-dec6bb64a8ce	Request: Übergabe einer File, Response: siehe Statuscodes
PUT / Files / {fileId}	Hochladen einer aktualisierten Version einer bestehenden Datei mit der entsprechenden FileID.	PUT / Files / 1b77bc1f-ec89-4d88-813b-dec6bb64a8ce	Request: Übergabe einer File, Response: siehe Statuscodes
DELETE / Files / {fileId}	Entfernen einer erforderlichen Datei mit der entsprechenden File-ID.	DELETE / Files / 1b77bc1f-ec89-4d88-813b-dec6bb64a8ce	Response: siehe Statuscodes

Abbildung 8: Auszug aus der API-Spezifikation

Der LPS verantwortete die Erstellung und Diskussion der Dokumentation und leitete verschiedene Workshops innerhalb des TPs 2 an. Das vollständige Spezifikationsdokument findet sich im Downloadbereich der Projektwebsite.¹¹

Microservice Architektur zum Datenaustausch

Im Rahmen des AP3.3 wurde das Softwarewerkzeug „DIAMOND-Structurer“ vom LPS entwickelt, das auf einer Microservice-Architektur basiert und für den neutralen Datenaustausch konzipiert wurde. Dieser „DIAMOND-Structurer“ umfasst Komponenten wie den Export in verschiedene Datenformate sowie die Prüfung von Erweiterungen der AML-Datei. Hierfür wurden LPS-seitig sowohl die Services *Export JSON*, *Export CSV* als auch *AML-Spellchecker* definiert und implementiert. Die Services besitzen folgende Funktionalitäten:

1. Service „Export JSON“
Neben dem CSV-Export bietet dieser Service die Möglichkeit, AML-Daten als serielles JSON-Format zu exportieren. JSON eignet sich besonders für die direkte Integration in bestehende Webapplikationen und moderne Softwarearchitekturen, da es als natives Datenformat vieler Web-APIs und Frontend-Frameworks etabliert ist. Dies ermöglicht Entwicklern die nahtlose Einbindung von Anlagendaten in Dashboard-Anwendungen, Monitoring-Tools oder mobile Apps, ohne aufwendige Datenkonvertierungen durchführen zu müssen.
2. Service „Versionchecker“
Der Versionchecker-Service soll eine essenzielle Qualitätssicherungsfunktion für die Verwaltung und Wartung von AML-Anlagen durch den Vergleich zwischen verschiedenen Anlagenversionen demonstrieren. Dieser Service erkennt hinzugefügte oder entfernte Komponenten und stellt diese Änderungen übersichtlich dar. Besonders in komplexen Industrieanlagen, wo regelmäßige Anpassungen, Erweiterungen oder Modernisierungen stattfinden, gewährleistet dieser Service die Nachvollziehbarkeit aller Änderungen und minimiert das Risiko von Inkonsistenzen oder vergessenen Komponenten. Der manuelle Aufwand für Dokumentationsaktualisierungen wird dadurch reduziert und verhindert kostspielige Fehler, die durch eine unvollständige oder fehlerhafte Anlagendokumentation entstehen können.
3. Service „Export CSV“
Mit diesem Service soll exemplarisch demonstriert werden, dass umfassende AML-Dateien für eine initiale Übersicht und grundlegende Analysen als CSV-Format exportiert werden können. Diese Vereinfachung bietet erhebliche praktische Vorteile, da das CSV-Format von nahezu allen Verarbeitungssystemen gelesen werden kann, darunter sind beispielsweise gängige Office-Anwendungen wie Microsoft Excel oder LibreOffice Calc sowie Programmiersprachen wie Python, R oder MATLAB. Dies ermöglicht auch Einsteigern ohne spezialisierte AML-Tools den direkten Zugang zu den Anlagenplanungsdaten. Praktische Anwendungsfälle umfassen beispielsweise die übersichtliche Darstellung aller digitalen und analogen Ein- und Ausgänge, die Inventarisierung von Komponenten einzelner Teilsysteme sowie die einfache Filterung und Sortierung von Anlagendaten für Plausibilitätsprüfungen und Datenvalidierungen. Hierfür wird entsprechend nicht die vollständige AML-Struktur benötigt, sondern nur eine gezielte Auswahl relevanter Daten in tabellarischer Form. Dies macht die Informationen für alle Beteiligten leicht zugänglich und nutzbar.

Als Integrationschritt ins Gesamtsystem wurde die Anbindung an den Backbone (CLARA-App) von Siemens erprobt (siehe Abbildung 9 Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.), die die

¹¹ <https://diamond-project.de/downloads/>

vom LPS verantwortete API-Spezifikation nutzt. Das Ziel, spezifische Komponenteninformationen vereinfacht über einheitlich definierte Schnittstellen abzurufen, wurde damit verifiziert.

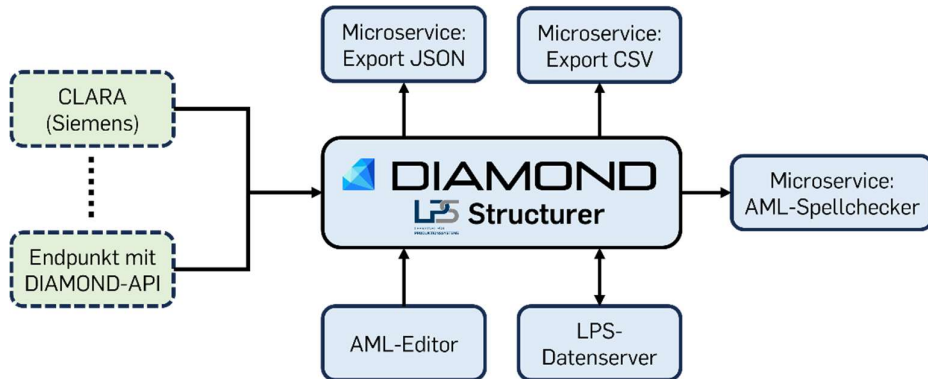


Abbildung 9: Anbindung des LPS-DIAMOND-Structurers an die DIAMOND-Infrastruktur

Schulungsentwicklung

Besondere Wichtigkeit galt dem Wissenstransfer der Projektergebnisse. So beteiligte sich der LPS federführend an der Definition von zu schulenden Mitarbeitern der verschiedenen Rollen. Ausgehend von den Persona-Beschreibungen und Analysen im Rahmen von TP 1 (SIPOC, IST-Prozess), ergaben sich die in Abbildung 10 dargestellten Rollen und Zielgruppen, sowie deren Verortung im Prozess:

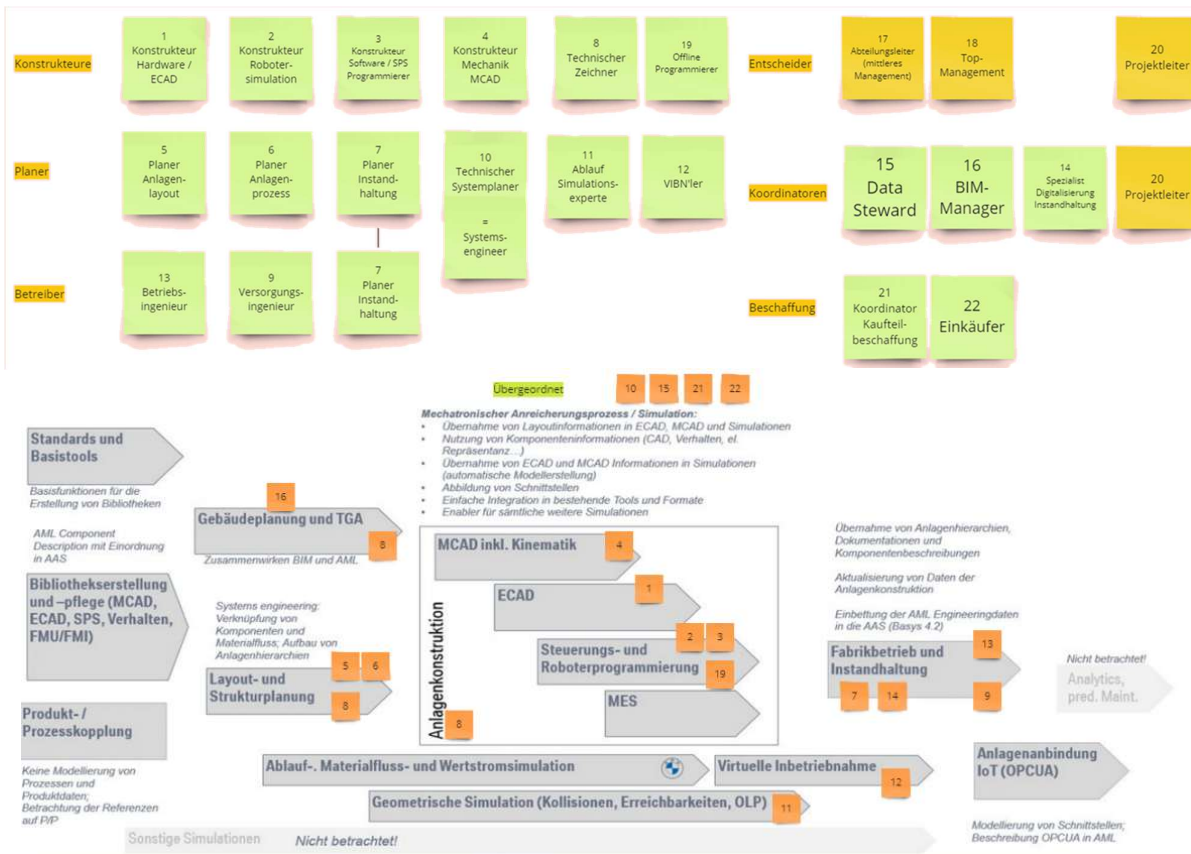


Abbildung 10: Rollen im Anlagenentstehungsprozess und deren Verortung

Der LPS erarbeitete gemeinsam mit den Projektpartnern auf Basis der identifizierten Rollen ein

Schulungskonzept, welches mögliche Schulungen beinhaltet. Eine Übersicht dazu ist in Tabelle 3 dargestellt. Vorgelagert organisierte der LPS einen Workshop mit den beteiligten Projektpartnern zur Priorisierung der Schulungen. Diese wurden anschließend primär realisiert und erprobt. Alle im Projekt nicht umgesetzten Schulungen stehen für eine langfristige Umsetzung zur Verfügung.

Tabelle 3: Übersicht über das Schulungskonzept (grün=umgesetzt und erprobt)

Schulungen für alle (Grundlagen)	Spezifische Schulungen AML	Spezifische Schulungen AAS	Toolbezogene Schulungen	Rollen-spezifische Schulungen	Management Schulungen	Schulungen
Idee / Vision Diamond inkl. Use Cases	AML-Grundlagen	AAS-Grundlagen → Fraunhofer IOSB	Demonstratoren in der Anwendung (LuArtX, Solar-Computer, Tarakos) - z.B. AML-Carf-Schnittstelle	Pflege zusätzlicher Attribute (Welche sind für wen relevant und warum?)	Wirtschaftlichkeitsrechner Digitaler Zwilling/CDM	
Einführungsstrategien eines DZ oder CDM	Aufbau und Struktur des neutralen Datenmodells (CDM) - Rollen, Klassen und Attribute (Business Objects)		Konvertierungsprozess - Welches (Konvertierungs-) Tool für welche Umgebung	Veränderungen der Aufgaben und Jobspezifischen Prozesse, Pflichten, Rechte	Datenhoheit und Recht	
Zusammenhänge im Anlagenentstehungsprozess – Prozess, Rollen und Attributpflege	Integration AML-AAS					
Glossar	AML-Editor-Schulung					

Ausgehend von dem Schulungskonzept wurde zunächst eine Basisschulung durch den LPS vorangetrieben. Für die Basisschulung wurden die Inhalte definiert und die Erstversion der Schulung in Q4/2023 an erste Feedbackgeber verteilt. Die Schulung wurde in Q1/2024 pilotiert und fertiggestellt. Der LPS lieferte entsprechend der unten beschriebenen Umfrageergebnisse und der Schulungsplanung Input für die Erstellung einer übergreifenden Grundlagenschulung und koordinierte diese in Zusammenarbeit mit dem Unterauftragnehmer von BMW (University4Industries).

Weiterhin entwickelte der LPS im Hinblick auf die weitere Schulungsentwicklung von April bis August 2023 eine Umfrage mit folgenden Zielen:

- Identifikation der Bedeutung/Schwere/Stärke der Herausforderungen aus technischer Sicht (Schwerpunkt Daten) in der Einführung digitaler Anlagenzwillinge.
- Aufbau der Grundlagen zur inhaltlichen Differenzierung des Schulungskonzeptes anhand z.B. technischer Herausforderungen und deren Bedeutung innerhalb verschiedener Rollen.
- Ableitung der wichtigsten Herausforderungen in der Datenqualität anhand deren Charakteristiken.

Nach Erstellung und Pilotierung der Umfrage ist der Wunsch nach einer englischen Fassung sowie jeweils einer Kurzfassung der Umfrage (5-10 min) aufgekommen. Diese wurde im Umfragetool Unipark umgesetzt.

- Umfragezeitraum: August – November 2023
- Auswertzeitraum: November – Dezember 2023
- Zielgruppe: Mitarbeiter*innen im Anlagenentstehungsprozess innerhalb und außerhalb des DIAMOND-Projektes

Nachfolgend sind einige Ergebnisse beispielhaft aufgeführt. Die Gesamtauswertung kann bei Bedarf

ausgehändigt werden. Basierend auf unseren Daten aus einer quantitativen Befragung mit mehr als 100 Teilnehmern konnte der LPS die Meinung der Experten bestätigen (vgl. Abbildung 11), und zwar:

- dass eine erfolgreiche Einführung eine ganzheitliche Betrachtung verschiedener Faktoren (technisch, infrastrukturell, sicherheitsrelevant und qualifikatorisch) benötigt und gezielte Maßnahmen abgeleitet werden müssen, um diese Hindernisse zu überwinden,
- dass eine klare Tendenz erkennbar ist, die das Management und die Weitergabe relevanter Daten in der richtigen Qualität über verschiedene Systeme hinweg als größte Hindernisse identifiziert, sowie
- dass die verfügbare Breitbandinfrastruktur sowie die IT- und Datensicherheit die geringsten Barrieren darstellen.

Bzgl. der Datenqualität konnte der LPS Folgendes feststellen (vgl. Abbildung 12):

- Redundanz- und Widersprüchlichkeits-Sorgen: Beachtliche 74 % äußern Bedenken hinsichtlich der Datenredundanz. Darüber hinaus geben mehr als 60 % an, dass die erhaltenen Daten häufig Widersprüche aufweisen.
- Formatiert für einfache Interpretation: 68 % bevorzugen eine standardisierte Datenformatierung. Klare Regeln und Standards sind in Vorbereitung, um Ihre Arbeit reibungsloser zu gestalten.
- Aktualität ist eine Herausforderung: Mehr als 61 % finden es schwierig, Aktualisierungen in Echtzeit zu erhalten. Die Verbesserung dieses Aspekts ist für uns eine Priorität.
- Vollständigkeitsbedenken: Beachtliche 57 % glauben, dass die Daten nicht vollständig sind. Wir arbeiten daran, dass Sie alle Informationen, die Sie benötigen, sofort zur Hand haben.
- Zuverlässigkeit ist gegeben: Lediglich 16 % der Teilnehmer sind der Meinung, dass die bereitgestellten Daten nicht verlässlich oder vertrauenswürdig sind. Dies freut uns, denn Vertrauen ist die Grundlage für eine gute Entscheidungsfindung!

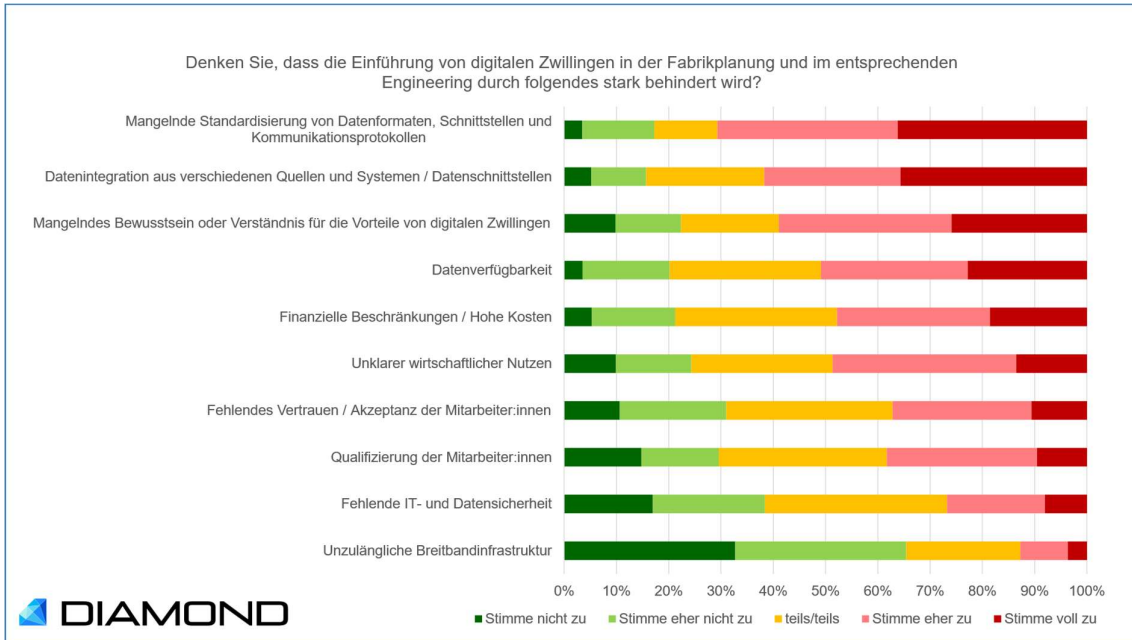


Abbildung 11: Auswertung der Barrieren zur Einführung eines Digitalen Zwillinges

Merkmal Datenqualität und zu bewertende Aussage:

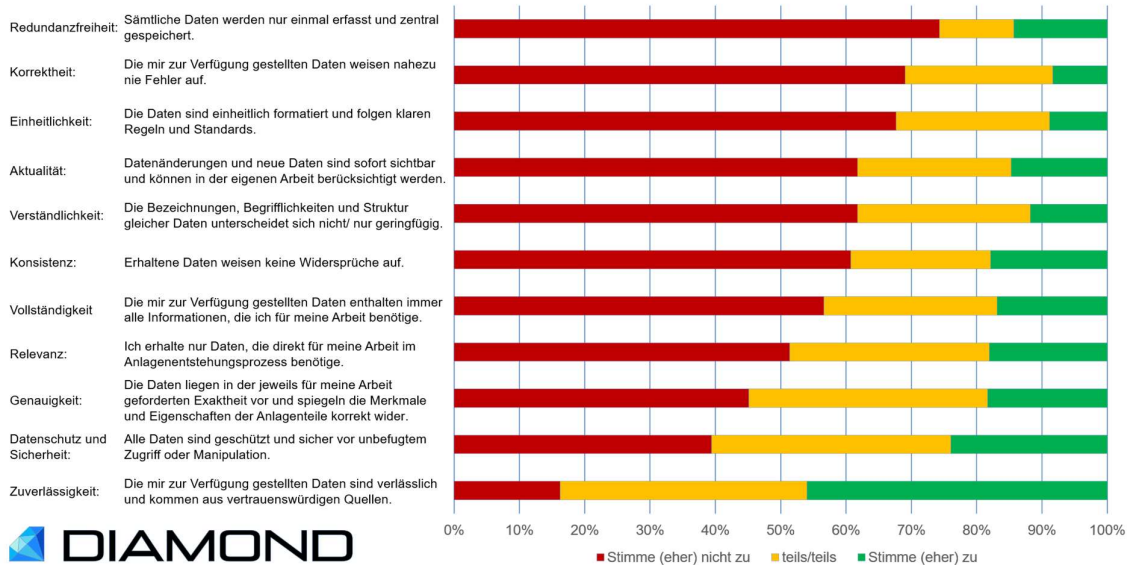


Abbildung 12: Bewertung der Aussagen zur Datenqualität

Ausgehend von den Umfrageergebnissen wurde eine Basisschulung aufgebaut und umgesetzt. Diese wurde in verschiedene Unterkapitel gegliedert und kann Abbildung 13 und Abbildung 14 entnommen werden. Der LPS lieferte entsprechend den beschriebenen Umfrageergebnissen und der Schulungsplanung Input für die Erstellung einer übergreifenden Grundlagenschulung und koordinierte diese in Zusammenarbeit mit University4Industries.

Inspiration / Motivation & Vision: „Was wäre, wenn“
2-3 Min „Teaser“ (Ebene 0)

- Kurze Statements verschiedener Rollen (Projektleiter, Planer, ...)
- Provokierend, Emotionen ansprechen, Begeisterung wecken
- Vision „Was wäre, wenn“ Realität werden lassen
- „Wollen wir schon seit 20 Jahren“
- ...

Vorteile: „Was haben wir davon“
5-10 Min (Ebene 1)

- Vorteile auf verschiedenen Ebenen / entlang der Prozesskette
- Rollenspezifisch / je nach Gruppe (Planer, Layouter, Lieferant, Leiter, ...): exemplarisch einige Rollen herausgreifen, idealerweise sollte jeder sich vertreten fühlen
- Vorteil: Geringere Fehleranfälligkeit, z.B. durch Reduzierung von Datenbrüchen, Rückverfolgbarkeit, ...
- Vorteil z.B. Layouter: Veränderungen einfacher implementieren; Teile/Module wiederverwendbar; manuelle Arbeiten reduzieren (z.B. Teilenummerierung), da neue Datenformate Teiledetails beinhalten
- Vorteil z.B. Konstrukteur: 3D Konstruktion direkt importieren
- Vorteil z.B. BMW-Planer: Spezifikationen einfacher überprüfen
- Vorteil z.B. VIBN: „Virtuelles Anlagenmodell auf Knopfdruck“
- Vorteil Business: Zeiteinsparung & Planungssicherheit
- Rollenübergreifende Vorteile: Win-Win-Situation durch bessere Sichtbarkeit über einzelne Entwicklungsprozesse hinweg, gemeinsame Bezeichnungen, frühzeitige Fehlervermeidung

Vorher/Nachher (Usecases) entlang der Prozesskette
10-15 Min (Ebene 1)

- **Prozesskette** erläutern (zentrales Element => Prozess „normieren“)
- Was ändert sich gegenüber früherem Vorgehen
- „Woher bekomme ich meine Daten? In welcher Form liefere ich meine Ergebnisse?“
- Usecases entlang Prozesskette erläutern: „Was das heißt das jetzt für eine Anlage“
- **Usecase 1 / Usecase 2 / Usecase 3**
- Option: Mini-Demo mit verschiedenen Tools (Einblick in Möglichkeiten geben)

Voraussetzungen & Glossar

(„Was brauchen wir dafür“ und „Was ist gemeint mit...“)
10-15 Min (Ebene 2)

- Einfache Erklärung der Begriffe (Beschreibung, Abgrenzung)
- „Digitale Planung“
- „Objektorientierung“
- Virtuelles Abbild / „Digitaler Zwilling“
- „Datenportabilität“ (Datenübertragbarkeit)
- „Datendurchgängigkeit“: Daten so effektiv wie möglich durch die Toolkette der Anlagenentwicklung transportieren

Fazit / Zusammenfassung / Ausblick

5 Min (Ebene 0)

- Animation durch Prozesskette: Woher kommen wir, wohin wollen wir
- Zusammenfassung der Vorteile
- Vorher-Nachher

Abbildung 13: Schulungskonzept Basisschulung

Table of Contents (Skill Structure)	
C0729A – Grundlagenmodul DIAMOND	.....
C0729A_T01 – Motivation & Vision des DIAMOND-Projekts	.....
C0729A_01 – Worum geht es im Projekt DIAMOND?	.....
C0729A_02 – Wer ist am Projekt DIAMOND beteiligt und warum?	.....
C0729A_03 – Was ist die Vision von DIAMOND?	.....
C0729A_T02 – Vorteile von DIAMOND entlang der Prozesskette	.....
C0729A_04 – Übersicht Prozesskette und Rollen	.....
C0729A_05 – Vorteile entlang der Prozesskette	.....
C0729A_T03 – Use Cases im Projekt DIAMOND	.....
C0729A_06 – Use Case 1: Automatisierte Generierung eines virtuellen Modells (BMW)	.....
C0729A_07 – Use Case 2: Automatisierter Übergang zwischen Engineering und Betrieb (BMW)	.....
C0729A_08 – Use Case 3: Die liegende 8 (EKS InTec)	.....
C0729A_09 – Use Case 4: ECAD <-> SPS mit AR APC (Siemens)	.....
C0729A_10 – Use Case 5: Brownfield & Greenfield Planung (Tarakos GmbH)	.....
C0729A_T04 – Zusammenfassung und Ausblick	.....
C0729A_11 – Zusammenfassung und Ausblick	.....
C0729A_T05 – Glossar der wichtigsten Begriffe	.....
C0729A_12 – Wichtigste Begriffe im Projekt DIAMOND	.....
C0729A_12A – Digitale Planung	.....
C0729A_12B – Objektorientierung	.....
C0729A_12C – Digitaler Zwilling	.....
C0729A_12D – Virtuelle Inbetriebnahme	.....
C0729A_12E – Interoperabilität	.....

Abbildung 14: Modulare Umsetzung des Schulungskonzeptes

Abbildung 15 zeigt einen Auszug der Umsetzung der Schulungsmodule im Trainingsportal des Anbieters Universities4Industry, welches im Rahmen dieser Schulung eingesetzt wurde. Hervorzuheben ist der modulare Aufbau, der ein schrittweisen Aufbau von Knowhow bei den Teilnehmenden ermöglicht und somit schrittweise in die Thematik der neutralen Datenmodellierung im Kontext des DIAMOND-Projektes einführt.

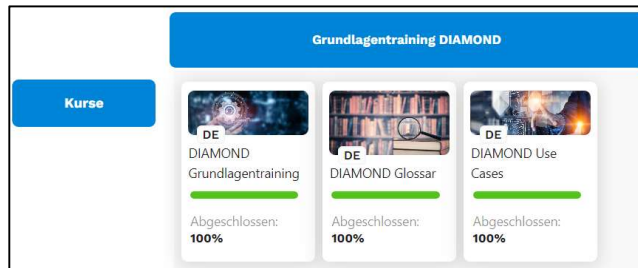


Abbildung 15: Interface der Basisschulung

Aufbauend auf der Basisschulung widmete sich der LPS der Ausarbeitung einer weiteren Schulung

rund um den digitalen Zwilling. Diese hat das Ziel, ein fundiertes und praxisnahes Verständnis für das Konzept des digitalen Zwillings, seine Funktionsweise und seine vielfältigen Einsatzmöglichkeiten im industriellen Kontext zu vermitteln. Im Mittelpunkt steht die umfassende Betrachtung digitaler Zwillinge als Schlüsseltechnologie für die Digitalisierung von Anlagen, Prozessen und Produkten in der Industrie 4.0. Die Schulung richtet sich an die Mitarbeitenden der Akteure des Anlagenentstehungsprozesses, an Studierende sowie Fach- und Nachwuchskräfte aus den Bereichen Maschinenbau, Informatik und Automatisierungstechnik. Zentrales Anliegen ist es, den Teilnehmenden aufzuzeigen, wie sich physische Objekte und Prozesse mithilfe digitaler Repräsentationen abbilden, analysieren und optimieren lassen. Dabei wird ein besonderer Fokus auf den Anlagenentstehungsprozess gelegt, einen übergreifenden Zyklus, der alle Phasen von der Idee und Konzeption über die Entwicklung, Inbetriebnahme und den laufenden Betrieb bis hin zur Außerbetriebnahme industrieller Anlagen umfasst. Die Schulung verdeutlicht, wie digitale Zwillinge diesen Prozess begleiten, unterstützen und verbessern können.

Die Schulung ist modular aufgebaut und beginnt mit einer grundlegenden Einführung in die historische Entwicklung und die begriffliche Abgrenzung der zentralen Konzepte „virtuelles Modell“, „digitaler Schatten“ und „digitaler Zwilling“. Bereits an dieser Stelle wird herausgearbeitet, dass sich der digitale Zwilling durch bestimmte Schlüsseleigenschaften auszeichnet, insbesondere durch eine bidirektionale Kommunikation mit der physischen Welt, die Integration von Echtzeitdaten und die aktive Einbindung in Simulations- und Optimierungsprozesse. Aufbauend auf dieser konzeptionellen Einordnung wird die Motivation für den praktischen Einsatz digitaler Zwillinge in industriellen Anwendungen erörtert. Dabei werden konkrete Vorteile wie gesteigerte Effizienz und Produktivität, verbesserte datenbasierte Entscheidungsfindung und Möglichkeiten zur vorausschauenden Wartung (Predictive Maintenance) thematisiert.

Im weiteren Verlauf wird der digitale Zwilling systematisch im Anlagenentstehungsprozess verankert. Die Schulung zeigt praxisnah, wie sich digitale Zwillinge in den verschiedenen Lebenszyklusphasen eines technischen Systems einsetzen lassen. Mögliche Anwendungsbereiche sind die frühzeitige Identifikation potenzieller Fehlerquellen, die kontinuierliche Optimierung von Produktionsabläufen oder die datengetriebene Unterstützung des Engineerings. Ein zentrales Modul widmet sich dem Aufbau eines digitalen Zwillings in der Praxis. Die Teilnehmenden lernen, wie aus einem einfachen virtuellen Modell zunächst ein digitaler Schatten und schließlich ein vollwertiger digitaler Zwilling entsteht. Dieser Prozess wird anhand eines strukturierten, methodischen Vorgehens vermittelt. Von der Zieldefinition über die Modellierung und Validierung bis hin zur Planung und Auswertung von Simulationen und Versuchen. Begleitend dazu werden auch typische Herausforderungen thematisiert, etwa die Integration heterogener Datenquellen, der Umgang mit hoher Systemkomplexität oder die Auswahl geeigneter Simulations- und Modellierungswerkzeuge.

Ein besonderer fachlicher Schwerpunkt der Schulung liegt auf dem Zusammenspiel von digitalen Zwillingen und industrieller Robotik. Am Beispiel des kollaborativen Roboters ABB YuMi erfahren die Teilnehmenden, wie ein digitaler Zwilling für die Robotik entsteht und genutzt wird. Dabei kommt die Simulationsumgebung RobotStudio mit der dazugehörigen Programmiersprache RAPID zum Einsatz, um die Verbindung zwischen digitalem Modell, Simulation und realer Roboterbewegung anschaulich zu machen. Die vermittelten Inhalte werden durch praktische Übungen ergänzt, die ein vertieftes Verständnis für die zugrunde liegenden Technologien und Abläufe ermöglichen.

Ein weiteres wesentliches Element der Schulung ist das Thema Standardisierung. Dieses ist für die langfristige Interoperabilität digitaler Zwillinge unerlässlich. In diesem Zusammenhang werden zentrale industrielle Standards vorgestellt, darunter die Datenmodellierung mittels AML, die Verwaltungsschale (AAS) und die Kommunikation mittels OPC UA oder MQTT sowie die IT-Sicherheit gemäß ISO/IEC 27001 oder dem NIST Cybersecurity Framework. Die Schulung erläutert die Bedeutung dieser Standards für die nahtlose Integration digitaler Zwillinge in bestehende IT- und OT-Landschaften sowie ihre Rolle in der Lebenszyklusbetrachtung innerhalb von Product Lifecycle Management -Systemen.

Abschließend gibt die Schulung einen Ausblick auf das DIAMOND-Konzept, das eine ganzheitliche,

systematische Nutzung digitaler Zwillinge über sämtliche Phasen hinweg von der Planung über den Betrieb bis zur Wartung verfolgt. Dabei spielt das CDM eine zentrale Rolle. Als durchgängiges Datenmodell ermöglicht es die konsistente Kommunikation und Zusammenarbeit über System- und Abteilungsgrenzen hinweg.

Didaktisch setzt die Schulung auf einen abwechslungsreichen Methodenmix: Neben klassischen Lehrformaten wie Vorträgen und Präsentationen kommen auch interaktive Elemente wie Live-Demonstrationen, Gruppenarbeiten, Diskussionen und Umfragen zum Einsatz. Die mehrstündige Schulung ist in einzelne Module gegliedert, die jeweils Raum für Vertiefung, Rückfragen und Diskussionen lassen. Das Ziel besteht darin, den Teilnehmenden nicht nur theoretisches Wissen, sondern auch praktische Kompetenzen zu vermitteln, damit sie digitale Zwillinge künftig kompetent in ihren jeweiligen Fachgebieten einsetzen können. Die Schulungsunterlagen können online abgerufen werden.¹²

Im Rahmen des TP4.2 entstand im Jahr 2024 eine weitere Schulung zum DIAMOND-Projekt, die mit Testprobanden evaluiert wurde und allen Partnern zur Verfügung steht. Konkret geht es dabei um die Einführung in das Datenformat AML, für das bislang keine konkreten Schulungsunterlagen erstellt worden sind. Der LPS war insbesondere für die initiale Erstellung der Storyline verantwortlich, aus der schließlich die Schulung erzeugt werden konnte. Neben Grafiken wurden darüber hinaus umfangreiche Skripte zur Vertonung der Grafiken erstellt. Inhaltlich wurde zunächst die Motivation des neutralen Datenformats AML thematisiert. In Abbildung 16 findet sich ein Auszug aus der entwickelten AML-Schulung, der die aktuellen Herausforderungen des Anlagenentstehungsprozesses abbildet. Diese ergeben sich durch die vielen manuellen Informationsaustauschprozesse, welche den Entwicklungsprozess lähmen.

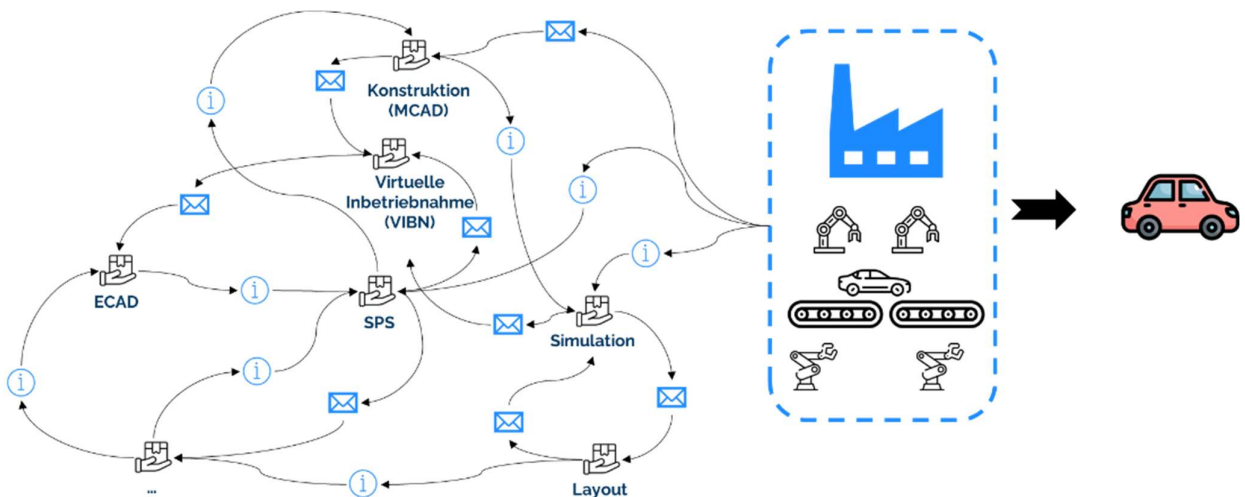


Abbildung 16: Aktuelle Herausforderungen des Anlagenentstehungsprozesses

Besonderes Augenmerk lag dabei auf den Vorteilen von AML, die die Notwendigkeit des Austauschformates für die verschiedenen Akteure des Anlagenentstehungsprozesses begründen.

Weiterhin entwickelte der LPS eine vertiefende Schulung zur Vermittlung der Grundlagen und zum Einstieg in die Anwendung des Datenformats AML. Die entsprechende Schulung „Grundlagen AutomationML“ verfolgte das Ziel, den Teilnehmenden ein fundiertes und praxisnahes Verständnis für die Modellierung und den Datenaustausch im industriellen Engineering mittels AML zu vermitteln. Im Mittelpunkt stand die Betrachtung von AML als Schlüsseltechnologie für die standardisierte, softwareübergreifende Modellierung komplexer technischer Systeme, insbesondere aufgrund der hohen Relevanz von universellen Metadatenformaten im Projektkontext. Die Schulung richtet sich gleich-

¹² https://www.lps.ruhr-uni-bochum.de/lps/mam/content/schulungsunterlagen_digitaler_zwilling.pdf

ermaßen an die Mitarbeitenden der Akteure des Anlagenentstehungsprozesses Studierende, wissenschaftliche Mitarbeiter sowie industrielle Fach- und Nachwuchskräfte aus den Bereichen Maschinenbau, Elektrotechnik, Automatisierungstechnik, Informationstechnik und Betriebswirtschaftslehre. Zentrales Anliegen ist es, den Teilnehmenden aufzuzeigen, wie AML als standardisiertes Datenformat auf Basis von XML (IEC 62714) eingesetzt werden kann, um Informationen zwischen unterschiedlichen Engineering-Werkzeugen nahtlos, maschinenlesbar und semantisch eindeutig auszutauschen. Dabei wurde insbesondere der Nutzen von AML für die Abbildung und Synchronisation komplexer Systemstrukturen in interdisziplinären Entwicklungsprojekten herausgestellt. Eine Übersicht über die Inhalte der Schulung findet sich in Abbildung 17.

Einführung
Grundlagen und Definitionen
CAEX/OOP
Der AML-Editor
AML-Trainingsaufgabe
Beispiellösung
Lessons Learned & Ausblick

Abbildung 17: Aufbau der AML-Schulung

Die Schulung beginnt mit einer grundlegenden Einführung in die Entstehung, Definition und Zielsetzung von AML. Anhand praxisnaher Beispiele wird verdeutlicht, dass AML kein starres Datenformat, sondern ein flexibles Metaformat ist, das auf objektorientierten Modellierungskonzepten basiert und eine klare Trennung zwischen Syntax und Semantik erlaubt. Aufbauend auf dieser konzeptionellen Einordnung wurden die wichtigsten Anwendungsbereiche vorgestellt – von der Synchronisation zeitlich veränderlicher Daten über den bilateralen oder multilateralen Datenaustausch zwischen Engineering-Tools bis hin zur Effizienzsteigerung durch Wiederverwendung vorhandener Informationen. Dabei wurden auch typische Herausforderungen digitalisierter Engineering-Prozesse thematisiert, etwa die wachsende Informationsdichte durch IoT-Anwendungen, die hohe Interdisziplinarität und Werkzeugvielfalt sowie die Gefahr inkonsistenter Daten infolge arbeitsteiliger Entwicklungsprozesse.

Ein zentraler fachlicher Schwerpunkt liegt auf der Vorstellung der technischen Grundlagen von AML. Die Teilnehmenden lernen die Rolle des CAEX-Schemas (Computer Aided Engineering Exchange) als strukturgebendes Fundament kennen, das in XML beschrieben wird und wesentliche Prinzipien der objektorientierten Programmierung wie Kapselung, Vererbung, Klassenhierarchien und Schnittstellen integriert. Systematisch wurden die wichtigsten AML-Bibliotheken eingeführt: die AttributeTypeLib zur Definition von Attributen und Randbedingungen, die InterfaceClassLib zur Abbildung von Schnittstellentypen, die RoleClassLib zur funktionalen Abstraktion von Systemakteuren, die SystemUnitClassLib zur Beschreibung physischer oder logischer Systembestandteile sowie die InstanceHierarchy zur Abbildung hierarchischer Gesamtmodelle. Ergänzend wurden Modellierungsstrategien und die Nutzung des AML-Editors vorgestellt, einschließlich Installation, Konfiguration und Validierung von Modellen.

Die theoretischen Grundlagen werden durch praxisorientierte Modellierungsaufgaben vertieft. In einem ersten Anwendungsbeispiel modellieren die Teilnehmenden eine Produktionszelle, bestehend aus Gießereianlage, Roboter und Peripherie, einschließlich der erforderlichen Bibliotheken, Instanzen und Schnittstellen. In einem zweiten Beispiel wird eine robotische Fertigungszelle, bestehend aus Industrieroboter und zusätzlichem speziellem Endeffektor modelliert, wobei die Attribute,

Schnittstellen und Rollen beider Systeme unter Berücksichtigung der funktionalen und physikalischen Anforderungen abgebildet werden. Die Übungen vermitteln nicht nur den praktischen Umgang mit dem AML-Editor, sondern auch methodische Schritte einer objektorientierten Analyse, beginnend mit der Systemzerlegung bis hin zur Abbildung vollständiger Instanzhierarchien. Der dabei einzuhaltende Modellierungsworkflow ist in Abbildung 18 dargestellt.



Abbildung 18: Beispiel Modellierungsworkflow im AML-Editor

Ein besonderes Augenmerk galt dem Zusammenspiel von abstrakten Modellierungskonzepten und konkreten Anforderungen aus der Praxis. Die Schulung verdeutlicht, wie durch die Trennung von Rollen, Schnittstellen und physikalischen Instanzen eine hohe Flexibilität bei der Modellierung erreicht wird. Gleichzeitig wird aufgezeigt, wie Constraints und Normverweise im Modell integriert werden können, um technische Anforderungen explizit abzubilden. Abschließend werden im Modul „Lessons Learned“ die zentralen Lernergebnisse herausgestellt: ein vertieftes Verständnis der AML-Struktur, die Fähigkeit, komplexe Systemmodelle modular und wiederverwendbar aufzubauen, und das Wissen, wie semantische Bezüge über Internal Links und Referenzen konsistent gepflegt werden können.

Mit Blick auf die Integration in die Lehre des LPS bietet sich eine curriculare Verankerung der Schulung in mehreren Bereichen an. Einerseits eignet sich das Thema hervorragend für interdisziplinäre Lehrformate wie Projektseminare oder Praktika, in denen ingenieurwissenschaftliche und informationstechnische Kompetenzen gemeinsam angewendet werden. Andererseits lassen sich Inhalte der Schulung sinnvoll in bestehende Module integrieren, beispielsweise in Lehrveranstaltungen zu „Grundlagen der Automatisierungstechnik“ und „3D-Simulation in der Automatisierungstechnik“. Aufgrund des hohen Praxisbezugs bei der Simulation und Steuerung realer Systeme ist auch eine Einbindung in Wahlpflichtmodule oder Laborpraktika denkbar. Langfristig wäre auch die Entwicklung eines Zertifikatskurses oder eines fakultätsübergreifenden Micro-Degree-Programms denkbar, das sich gezielt an Studierende richtet. Damit könnte die Schulung einen wertvollen Beitrag zur Qualifikation künftiger Fachkräfte in einem der zentralen Innovationsfelder der industriellen Digitalisierung leisten. Der aktuelle Auszug der Schulung kann auf der Homepage des Lehrstuhls für Produktionssysteme heruntergeladen werden.¹³

Einführungskonzept des CDM

Neben den aufgezeigten Schulungen konnte ein Einführungsleitfaden für das CDM entwickelt werden. Dazu wurde die Einführung des CDM aus Sicht der Rollen Fahrzeughersteller, Anlagenbauer, Toolhersteller und Komponentenhersteller beschrieben. Konkret wurden dazu mit Experten jeder Rolle Handlungsschritte abgeleitet, die für eine erfolgreiche Einführung des CDM durchzuführen sind. Neben den Handlungsschritten wurden darüber hinaus grundlegende Konzepte wiederholt, wie beispielsweise das CDM und die entstehenden Datentypen im Anlagenentstehungsprozess. Da es sich bei diesem Dokument ebenfalls um ein Marketingdokument handelt, wurden auch die Vorteile der Einführung für die jeweiligen Rollen herausgearbeitet. Dies ermöglicht dem jeweiligen Leser ein schnelles Verständnis des Mehrwerts des CDM und des DIAMOND-Projektes. In der Abbildung 19 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ist ein Auszug aus den Handlungsempfehlungen für den Komponentenhersteller dargestellt. Darin erkennbar sind insgesamt drei Handlungsschritte, die nacheinander abgearbeitet werden können. Sind schließlich alle Schritte erfüllt, ist das CDM erfolgreich im eigenen Unternehmen eingeführt.

¹³ <https://www.lps.ruhr-uni-bochum.de/lps/forschung/diamond.html.de>

[Checkliste]

In dem folgenden Check sind die wichtigsten Aufgaben in einer kurzen Checkliste zusammengefasst. Die Bearbeitung der Einträge ermöglicht die erfolgreiche Integration des CDMs in die eigenen Unternehmensstrukturen.

Schritt 1-1 (empfohlen):

- Durchführen des Wirtschaftlichkeitsrechners

Schritt 1-2:

- Ist-Analyse der Datenverfügbarkeit
 - Alle verfügbaren Dokumentationen im Unternehmen sind untersucht
 - Alle relevanten Fachabteilungen sind befragt
 - Alle bestehenden Datenbanken im Unternehmen sind analysiert
 - Ein Dokument zum aktuellen Stand der Datenhaltung ist aufgesetzt

Schritt 1-3:

- Festlegung der bereitzustellenden, empfohlenen und optionalen Daten
- Definition eines Soll-Zustandes, in dem die Komponente abgespeichert wird

Schritt 1-4:

- Erstellung der CDM-konformen Komponente (eigenständig oder über einen Dienstleister)

Schritt 2:

- Bereitstellung der Komponentendaten
- Betrieb von Servern (Firmenspezifisch oder durch einen Dienstleister)
- Aufbau und Durchführen von rollenspezifischen Schulungen

Schritt 3:

- Pflege (Änderung und Aktualisierung) der Komponentendaten und Nachfragesupport

Abbildung 19: Auszug aus dem Einführungsleitfaden

Das Endergebnis ist entsprechend ein 23-seitiges Dokument, welches auf mehreren öffentlichen Plattformen beworben werden konnte. Unter anderem kam der Leitfaden auf der Hannovermesse 2025 zum Einsatz, um interessierten Personen ein weiterführendes Dokument mit an die Hand zu geben, sodass eine Vertiefung der Inhalte auch nach Messeende ermöglicht werden konnte. Der Leitfaden wurde dabei sowohl als Druckversion als auch Onlineversion an die Messeteilnehmer verteilt. Öffentlich verfügbar ist das Dokument auch nach Projektende auf der Website des DIAMOND-Projektes.¹⁴

Publikationen

Im Laufe des DIAMOND-Projekts sind eine Vielzahl an Publikationen entstanden, die unter anderem eine internationale Sichtbarkeit des Projekts erreicht haben. Durch diese wissenschaftlichen Veröffentlichungen konnte sich der LPS international unter anderem in Portugal sowie Südafrika mit anderen Forschenden vernetzen und die Erkenntnisse des DIAMOND-Projektes verbreiten. Die Publikationen des LPS sind im Folgenden dargestellt:

Tabelle 4: Übersicht über die Publikationen des LPS

Drees, Tobias; Große-Kreul, Alexander; Syniawa, Daniel; Josler, Lars Niklas; Hypki, Alfred; Kuhlentötter, Bernd (2023): Framework For The Successful Set-up Of A Common Data Model In The Context Of An Industry 4.0-ready Plant Design Process. Unter Mitarbeit von Technische Informationsbibliothek (TIB), David Herberger und Marco Hübner: Hannover : publish-Ing.

¹⁴ https://diamond-project.de/downloads/files/Leitfaden_DIAMOND_Common_Data_Model.pdf

Große-Kreul, Alexander; Hansch, Kevin; Drees, Tobias; Lüder, Arndt; Kuhlenkötter, Bernd (2024): Evaluation Methodology for Selecting Data Exchange Technologies for Plant Design Processes. In: *Procedia CIRP* 130, S. 1130–1136. DOI: 10.1016/j.procir.2024.10.217.

Hansch, Kevin; Große-Kreul, Alexander; Lüder, Arndt; Kuhlenkötter, Bernd (2024): Objective Method-Based Requirement Gathering for Digital Data Logistics Processes in Industrial Projects. In: 2024 IEEE 29th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). 2024 IEEE 29th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). Padova, Italy, 10.09.2024 - 13.09.2024: IEEE, S. 1–4.

Luong, Tommy; Hoffmann, David; Drees, Tobias; Hypki, Alfred; Kuhlenkötter, Bernd (2024): System Architecture for Microservice-Based Data Exchange in the Manufacturing Plant Design Process. In: *Procedia CIRP* 130, S. 1416–1421. DOI: 10.1016/j.procir.2024.10.260.

Mersch, Tina; Schleipen, Miriam; Kuhlenkötter, Bernd; Hypki, Alfred; Burlein, Joachim; Schlögl, Wolfgang et al. (2025): Datendurchgängigkeit im Anlagenentstehungsprozess. In: *atp* 67 (4), S. 56–66. DOI: 10.17560/atp.v67i4.2775.

Hünecke, Paula; Lüder, Arndt; Eisenmann, Sandra; Rassl, Matthias; Mersch, Tina; Schleipen, Miriam; Große-Kreul, Alexander; Kuhlenkötter, Bernd; Hundt, Lorenz; Burges, Ulrich; Kraus, Vanessa (2025): Common Data Model für den Anlagenentstehungsprozess. In: *atp* 67 (10)

Mersch, Tina; Schleipen, Miriam; Ach, Michael; Listl, Carmen; Hünecke, Paula; Lüder, Arndt; Luong, Tommy; Kuhlenkötter, Bernd; Wünsche, Holger; Kraus, Vanessa; Hundt, Lorenz; Schlögl, Wolfgang; Burges, Ulrich; Yemenicioglu, Ender (2025): Vom Datenchaos zur Datentransparenz. In: *atp* 67 (11)

Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der größte Teil der eingesetzten Fördermittel entfiel auf Personalkosten. Diese wurden für projektbezogene Tätigkeiten wie die Koordination, administrative Abwicklung, inhaltliche Projektarbeit sowie die Dokumentation der Ergebnisse eingesetzt. Das Projektteam bestand aus internen Mitarbeitenden, die auf bereits vorhandene fachliche und organisatorische Kompetenzen zurückgreifen konnten.

Ein kleinerer Anteil der Mittel wurde für Maßnahmen zur Verwertung und zum Wissenstransfer verwendet. Hierzu gehörten insbesondere die Teilnahme an Wissenschaftskonferenzen, Fachmessen und Veranstaltungen zur Öffentlichkeitsarbeit sowie die Gestaltung von Informationsmaterialien zur Präsentation der Projektergebnisse.

Notwendigkeit der durchgeführten Arbeiten

Die Automobilindustrie steht vor grundlegenden Herausforderungen, die mit den zunehmenden Anforderungen an Variantenvielfalt, Prozesskomplexität, Lieferkettenresilienz und digitale Zusammenarbeit einhergehen. Gleichzeitig ist der Digitalisierungsstand vieler Akteure entlang der Wertschöpfungskette sehr unterschiedlich – ein einheitlicher Datenstandard zum Austausch von Anlagendaten fehlt oft. Domänenübergreifende Informationsflüsse sind durch proprietäre Schnittstellen stark eingeschränkt und führen zu einem hohen Grad an Medienbrüchen und Datenverlusten. Dies verursacht nicht nur einen zeitlichen Mehraufwand im Bereich der Anlagenplanung der Automobilindustrie, son-

dem erhöht auch die Kosten bis zum Produktionsstart (SoP).

Vor diesem Hintergrund war das DIAMOND-Projekt grundlegend entscheidend für die Schaffung eines einheitlichen Datenstandards im Bereich des Anlagenentstehungsprozesses. Der LPS konnte hierbei maßgebliche Fortschritte im Bereich der wissenschaftlichen Verbreitung und des Transfers erzielen, indem wesentliche Schulungen mitentwickelt und vorangetrieben wurden. Weiterhin konnten erhebliche technische Kernelemente gemeinsam mit dem Konsortium erarbeitet werden.

Mit den beantragten Zuwendungen ist der LPS in die Lage versetzt worden, die geplanten Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten durchzuführen und somit zur Verschlankeung der Prozesse in der deutschen Automobilindustrie beizutragen. Des Weiteren ist durch den Erkenntnisgewinn die Ausbildung der Studierenden stärker auf die Bedürfnisse der Wirtschaft von Morgen im Kontext der Industrie 4.0 vorbereitet und damit die Marktposition für die deutsche Wirtschaft gestärkt worden. Durch die enge Zusammenarbeit mit den beteiligten Industriepartnern konnten zudem wertvolle Einblicke in aktuelle Entwicklungen, Trends und Bedarfe der industriellen Praxis gewonnen werden. Diese Erkenntnisse liefern eine fundierte Grundlage, um zukünftige Ausbildungs- und Lehrinhalte für Ingenieur:innen gezielt an die Anforderungen der digitalen und vernetzten Produktion anzupassen. Insbesondere die praxisnahe Einbindung realer Anwendungsfälle hat gezeigt, welche Kompetenzen in den kommenden Jahren für die erfolgreiche Umsetzung von Industrie-4.0-Strategien erforderlich sein werden. Eine derart tiefgehende, hands-on Analyse wäre ohne die Förderung und den intensiven Austausch zwischen Wissenschaft und Industrie nicht möglich gewesen. Darüber hinaus hat die interdisziplinäre Zusammenarbeit den Wissenstransfer zwischen Forschung und Wirtschaft nachhaltig gestärkt und neue Impulse für innovative Lehr- und Lernkonzepte geliefert, die die Ingenieurausbildung zukunftsorientiert weiterentwickeln.