Projektabschlussbericht

Verbundprojekt DIAMOND – Digitale Anlagenmodellierung mit neutralen Datenformaten

Teilvorhaben der Synergeticon GmbH

Teil II

Eingehende Darstellung

Feld	Angabe
Vorhabenbezeichnung	DIAMOND – Digitale Anlagenmodellierung mit neutralen Datenformaten
Förderprogramm	KoPa 35c, Modul a2 – Digitalisierung der Fahrzeughersteller und Zulieferindustrie (BMWK)
Teilvorhaben	Entwicklung von konfigurierbarer Datendurchgängigkeit auf Basis grafischer Programmierung im Anlagenbau und Engineering
Zuwendungsempfänger	Synergeticon GmbH, Hein-Saß-Weg 22, 21129 Hamburg
Förderkennzeichen	13IK011U
Laufzeit	01.11.2022 – 31.10.2025 (36 Monate)
Verbundkoordinator	BMW AG (Förderkennzeichen Gesamtvorhaben 13IK011A)
Ansprechpartner	David Küstner · d.kuestner@synergeticon.com · +49 172 8344408
Projektträger	VDI Technologiezentrum (VDI TZ) im Auftrag des BMWK

1 Ausgangslage und ursprüngliche Vorhabenbeschreibung

1.1 Ausgangssituation

Das Verbundprojekt DIAMOND adressierte die durchgängige, werkzeug- und unternehmensübergreifende digitale Modellierung von Produktionsanlagen auf Basis neutraler, standardisierter Datenformate. Ausgangspunkt war die Beobachtung, dass der skalierte Einsatz Digitaler Zwillinge in der Fahrzeugindustrie an einem fehlenden, übergreifenden einheitlichen Datenmodell scheitert. Insbesondere im Anlagenbau und im Engineering führen Brüche an den Datenschnittstellen zwischen den eingesetzten Werkzeugen (CAD, ECAD, Layout, Materialfluss, Automatisierung, virtuelle Inbetriebnahme) zu Medienbrüchen, Doppelarbeit und Informationsverlusten.

Eine besondere Herausforderung stellt der Umgang mit Bestandsdaten („Brownfield“) dar: In der Automobilproduktion liegen Informationen überwiegend in unstrukturierter Form vor, häufig in technischen Zeichnungen und Grafiken. Diese Inhalte sind nur eingeschränkt maschinenlesbar und können nicht automatisch verarbeitet und kontextualisiert werden. Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen müssen Dokumente manuell sichten, um benötigte Informationen zu identifizieren: das Auffinden der richtigen Lösung ist entsprechend zeitaufwändig. Synergeticon adressierte als Technologie- und Digitalisierungspartner gezielt die Datendurchgängigkeit und deren benutzerfreundliche, KI-gestützte Aufbereitung.

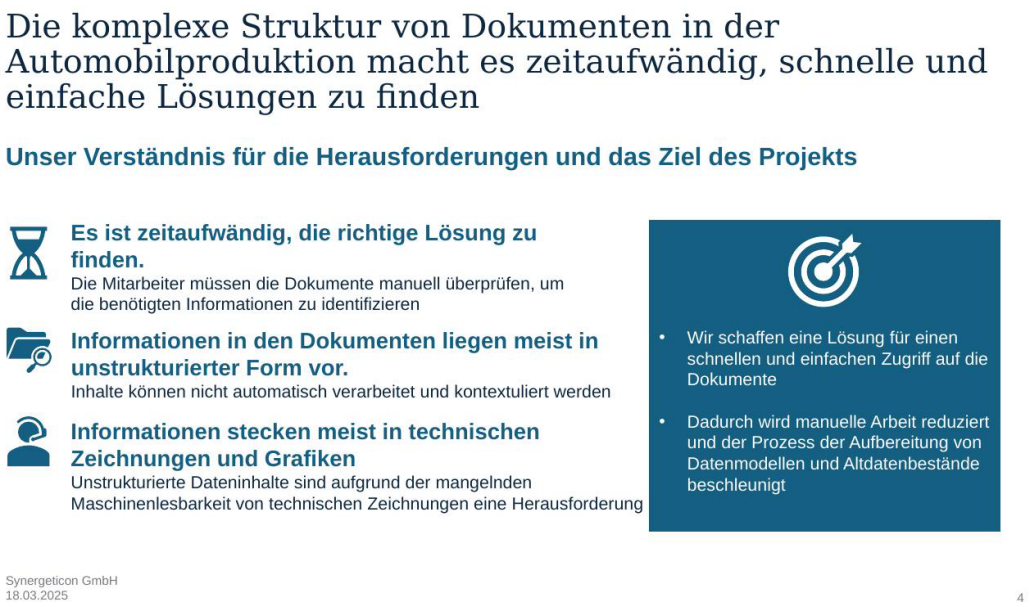

Abb. 1: Verständnis der Herausforderung und Ziel des Teilvorhabens: schneller, einfacher Zugriff auf unstrukturierte Dokumente, Reduktion manueller Arbeit, beschleunigte Aufbereitung von Datenmodellen und Altdatenbeständen

1.2 Projektziele und geplante Beiträge von Synergeticon

Übergeordnetes Ziel des Verbundes war die Schaffung eines einheitlichen Datenmodells (Common Data Model, CDM) inklusive eines gemeinsamen Datenraums, abgestimmt mit allen Herstellerkategorien und Prozessbeteiligten und erprobt an konkreten industriellen Use Cases. Synergeticon verfolgte hierfür zwei Teilziele: erstens die Mitgestaltung eines abgestimmten, einheitlichen Datenmodells für Anlagenbau und Engineering durch tiefe Prozess- und Datenanalyse (PPR-Kopplung) und deren Abgleich mit vorhandenen Standards. Zweitens die Erprobung und Skalierung der Implementierung des Datenmodells durch Methoden, Werkzeuge

und Code-Generatoren basierend auf einem „Schema-First“-Ansatzes, der automatischen Codegenerierung und der grafischen Programmierung.

1.3 Forschungsfragen und Innovationsansatz

Die leitenden Forschungsfragen lauteten: Wie lassen sich Produkt-, Prozess- und Ressourceninformationen über neutrale Formate (AML, AAS) konsistent und maschinenlesbar koppeln? Wie können unstrukturierte Bestandsdaten automatisiert in ein strukturiertes, standardkonformes Datenmodell überführt werden? Wie lässt sich die hohe Komplexität der Modellierung durch grafische Programmierung („No-Code“) und natürlichsprachliche Interaktion so weit reduzieren, dass auch nicht spezialisierte Anwender Datenmodelle konfigurieren können? Der Innovationsansatz von Synergeticon kombinierte den „Schema-First“-Ansatz mit automatischer Codegenerierung (GQLModelGen), neutralen Industrieformaten und im Projektverlauf zunehmend mit Large Language Models und Computer Vision zur Extraktion, Verknüpfung und natürlichsprachlichen Nutzung von Daten.

2 Durchgeführte Arbeiten je Arbeitspaket

Im Folgenden werden die von Synergeticon durchgeführten Arbeiten nach Arbeitspaketen gegliedert dargestellt. Die Darstellung berücksichtigt die im Juli 2024 genehmigte Änderung der Teilvorhabenbeschreibung.

2.1 AP 1.1 – PPR-Kopplung

Die PPR-Kopplung bildete den methodischen Kern der Aufbauphase. Synergeticon führte LIPOK-Analysen (Lieferant–Input–Prozess–Output–Kunde) durch, um die Prozesskette systematisch zu erfassen und Schwachstellen sowie Verschwendungen zu identifizieren. Aufbauend darauf wurde ein detailliertes Informationsmodell zur Beschreibung der für das Anlagenengineering notwendigen Produkt-, Prozess- und Ressourceninformationen am definierten Use Case entwickelt.

- **Lösungskonzept:** Erstellung eines Konzepts zur Systembeschreibung auf Basis von AutomationML (AML) und Asset Administration Shell (AAS) einschließlich des Know-how-Aufbaus für AML Role Class Libraries (RCL) und Interface Class Libraries (ICL).
- **Funktionale Erprobung (AP 1.1.4):** praktische Prüfung der PPR-Kopplung mit etablierten Tools und Plattformen; Evaluierung der technischen Mechanismen; Erprobung webbasierter No-Code-Libraries zur Konfiguration von Datenflows.
- **User Stories (AP 1.1.5):** Erstellung und Dokumentation von User Stories zur grafischen Programmierung und Konfiguration von PPR-Strukturen als Input für die Teilprojekte 2 und 3. Ergänzend dazu erfolgt eine erste Erprobung großer Sprachmodelle (LLMs) für eine sprachbasierte und leichte zugängliche Konfiguration.

2.2 AP 1.7 – Konsolidierung AP 1–6 im Common Data Model inkl. Data Governance

In AP 1.7 wirkte Synergeticon an der Konsolidierung der Ergebnisse aus den Arbeitspaketen AP 1.1–1.6 im Common Data Model mit und brachte Aspekte der Data Governance ein. Die Ergebnisse aus AP 1.1 wurden hierzu aufbereitet, mit den Partnern abgestimmt und für den Transfer in die weiteren Teilprojekte nutzbar gemacht. Zudem brachte Synergeticon seine Expertise zur weiteren Erforschung der grafischen Aufbereitung und Konfiguration der Datenmodelle ein.

2.3 AP 2.1 – Anforderungen an die Gesamt-IT-Systemarchitektur

Zur Schaffung einer belastbaren Grundlage für die nachfolgenden Arbeiten im Hauptarbeitspaket 2 beteiligte sich Synergeticon an der Erhebung und Dokumentation der funktionalen und non-funktionalen Anforderungen an die IT-Systemarchitektur. Dies umfasste die Durchführung von Workshops, die Erstellung eines umfassenden Anforderungskatalogs sowie die Definition der Methodik zur Anforderungserhebung. Synergeticon unterstützte zudem die Erstellung des gemeinsamen „Big Picture“ der IT-Systemarchitektur (DIAMOND-Backbone), das die Komponenten und ihre Interaktionen visualisiert und eine klare funktionale Unterteilung ermöglicht, sowie die Evaluierung und Auswahl geeigneter Enabling-Technologien und -Standards.

2.4 AP 2.2 – Datentransformation und -transport

Synergeticon identifizierte die für die weitere Bearbeitung relevanten Transportformate: JSON, XML und gRPC für einen effizienten und konsistenten Datentransport innerhalb der IT-Systemarchitektur und analysierte bestehende Mappings im Kontext der Datentransformation. Es wurden Workflows und Transformationsregelwerke entwickelt und dokumentiert, um den Datenaustausch zwischen Domänen und Werkzeugen zu standardisieren. Ergänzend wurden APIs zur Unterstützung der Datentransformation definiert und die funktionale Verifikation sowie die Flexibilität des Systems verbessert. Im Konsortium wurden Demonstratoren für Mappings, u. a. nach AMLx, erprobt und die Transformationsregeln in den Domänen Layout, Materialfluss und virtuelle Inbetriebnahme validiert.

2.5 AP 1.8 – Brownfield-Daten aufbereiten mit KI-Techniken (AP übernommen ab Juli 2024)

Infolge des Ausscheidens des Partners ProCAD übernahm Synergeticon ab Juli 2024 anteilig dessen Aufgaben in AP 1.8.. Inhaltlich verlagerte sich der Schwerpunkt damit auf die KI-gestützte Aufbereitung von Bestandsdaten („Brownfield“) und deren Migration in das Common Data Model. Synergeticon erforschte und entwickelte hierfür eine durchgängige, vierstufige Methodik, die KI und Computer Vision für einen schnellen und einfachen Umgang mit unstrukturierten Daten nutzt und dabei als zentrale Anforderung der Automobilindustrie eine starke Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Datenaufbereitung unterstützt.

Diese Transparenzanforderung ergibt sich aus dem regulatorischen Umfeld: Eine Zertifizierung erfordert vollständige Rückverfolgbarkeit, Erklärbarkeit und deterministische Validierung in Produktion und Wartung. Reine LLM-Ansätze sind aufgrund ihres „Black-Box“-Charakters für die behördliche Zulassung KI-gestützter Dokumentation problematisch. Synergeticon begegnete dem mit einer Kombination aus strukturiertem Knowledge Graph und einem Validierungsmechanismus, der KI-extrahierte Informationen verifiziert.

Die erforschte Demonstrator-Lösung setzt auf die Nutzung von KI und Computer-Vision für einen erleichterten Umgang mit unstrukturierten Daten. Die zugehörigen erforschten und im Rahmen des Projektes erprobten Arbeitsschritte werden auf den nächsten Seiten im Detail erläutert.

Die erforschte und im Rahmen des Projektes erprobte Demonstrator-Lösung im Überblick

Abb. 2: Vierstufige technische Lösung von Synergeticon: (1) Unstrukturierte Daten extrahieren, (2) 3D-Scans und Referenzierung, (3) agentenbasierte Datenverknüpfung, (4) Bereitstellung eines Avatars

Datengrundlage des Anwendungsfalls sind heterogene Bestandsdokumente aus den vier Fachdomänen Konstruktion, Mechanik, Elektrik und Instandhaltung (u. a. aus dem BMW-Werk Regensburg, Band 43). Diese Dokumente liegen in unterschiedlichsten Formaten und überwiegend unstrukturiert vor und bilden den Ausgangspunkt der vierstufigen Aufbereitung.

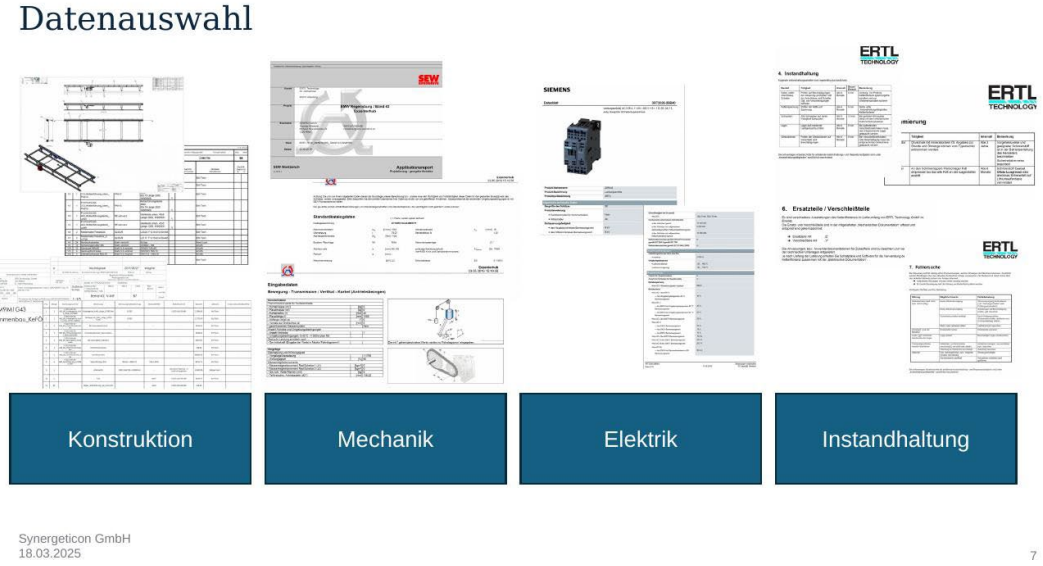

Abb. 3: Datenauswahl: heterogene Bestandsdokumente aus den vier Fachdomänen Konstruktion, Mechanik, Elektrik und Instandhaltung als Eingangsdaten der KI-gestützten Aufbereitung (Quelle: Synergeticon, 18.03.2025).

Schritt 1 – Extraktion unstrukturierter Daten (AP 1.8.1/1.8.3)

Im ersten Schritt werden Text, Zeichnungen und Strukturen aus den Bestandsdokumenten extrahiert und mit Unterstützung verschiedener Tools die Informationen aus unstrukturierten Dokumenten gewonnen. Der Extraktionsprozess wird visuell („No-Code“) konfiguriert. Im Anschluss erfolgt mittels Computer Vision eine semi-autonome Aufbereitung der Dokumente, einschließlich der Segmentierung von Bildinformationen und der Extraktion aus Diagrammen und Flussdiagrammen. Damit werden bislang schwer zugängliche, in technischen Zeichnungen gebundene Informationen maschinell nutzbar gemacht. Für die Extraktion aus PDF- und Office-Dokumenten kommen OCR-Verfahren und Entity Extraction zum Einsatz. Die eingesetzten KI-Modelle werden bewusst lokal (On-Premise) betrieben, um die Datensouveränität zu wahren.

Abb. 4: Schritt 1 – Extraktion von Text und visuellen Informationen aus Dokumenten und Computer Vision

Schritt 2 – 3D-Scans und Referenzierung (AP 1.8.5)

Im zweiten Schritt werden automatisiert digitale Abbilder der Produktionsumgebung erstellt. Dies kann mithilfe einer Drohne, eines autonomen Roboters oder mit Handscannern erfolgen. Die gescannten Daten einer Hallenumgebung werden so z.B. automatisiert mit dem Common Data Model verknüpft. Auf dieser Basis lassen sich der Ist-Zustand mit dem Soll-Zustand abgleichen und Qualitätsmerkmale automatisiert analysieren. Dieser Schritt bildet den Kern der im Rahmen von AP 1.8.5 aufgebauten Interims-Migrationsumgebung und der funktionalen Erprobung (u. a. roboterbasierte Vor-Ort-Scans an einer Bestandsanlage im BMW-Werk Regensburg, Band 42).

Abb. 5: Schritt 2 – Verknüpfung des Ist-Zustands mit dem CDM über roboter-/scannerbasierte 3D-Erfassung der Produktionsumgebung

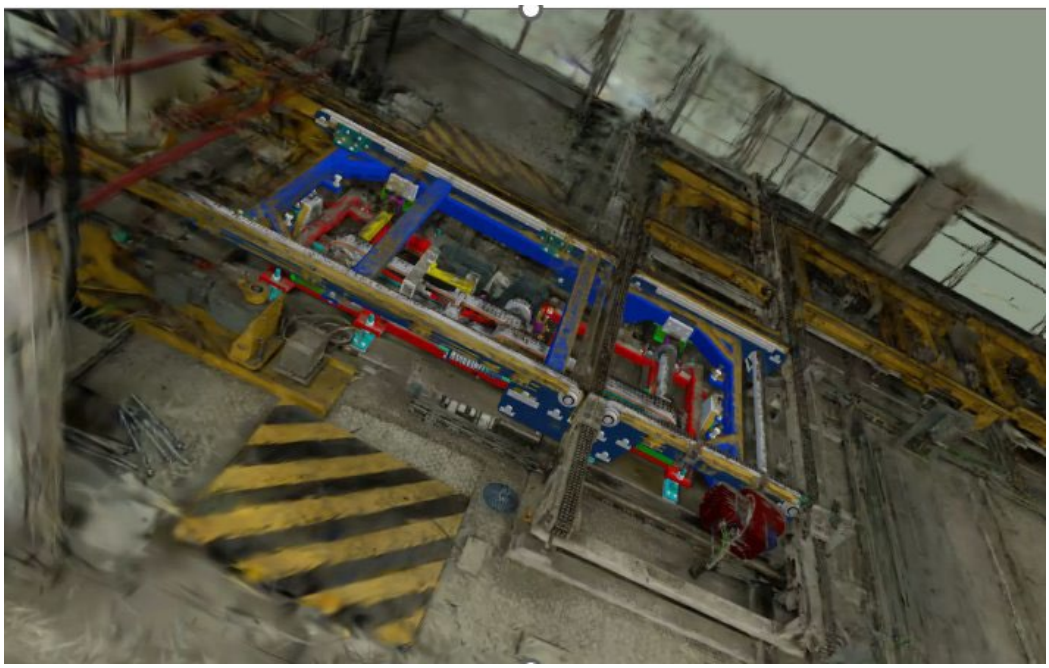

Abb. 6: 3D-Modell der Bestandsanlage (Band 42) im BMW-Werk Regensburg auf Basis eines roboterbasierten 3D-Scans – Grundlage für die semantische Segmentierung und die Anbindung an das Common Data Model

Für die Interims-Migrationsumgebung wurde zudem ein interaktives UI/UX-Mockup einer No-Code-konformen „Upload-&-Transformations“-Schnittstelle entwickelt. Es bildet die gesamte Upload-Strecke mit anschließender Mapping-Konfiguration ab: selektive Datenaufnahme, Vorschlagsfunktionen zur Datenklassifikation sowie grafisch geführte Konfigurationsschritte zur Überführung in das Common Data Model. Der Prozess wurde mit realen BMW-Daten in mehreren Iterationen verprobt.

Schritt 3 – Agentenbasierte Datenverknüpfung und Knowledge Graph (AP 1.8.3)

Im dritten Schritt wird ein Knowledge Graph als strukturiertes Datenmodell erforscht, um die unstrukturierten Dokumentendaten integrieren zu können. KI-Agenten extrahieren und organisieren die Dokumenteninformationen, indem sie Text, Diagramme und Flussdiagramme in einer zusammenhängenden Datenbank verbinden. Eine 3D-Georeferenzierung ermöglicht die genaue Kartierung und Verknüpfung von Ortsinformationen. Ein Validierungsmechanismus verifiziert die KI-extrahierten Informationen und verstärkt die Genauigkeit, Rückverfolgbarkeit und die Einhaltung von Zertifizierungsstandards. Gegenüber klassischen Datenbanken ermöglicht der Knowledge Graph Echtzeit-Abfragen bei gleichzeitig vollständiger Transparenz.

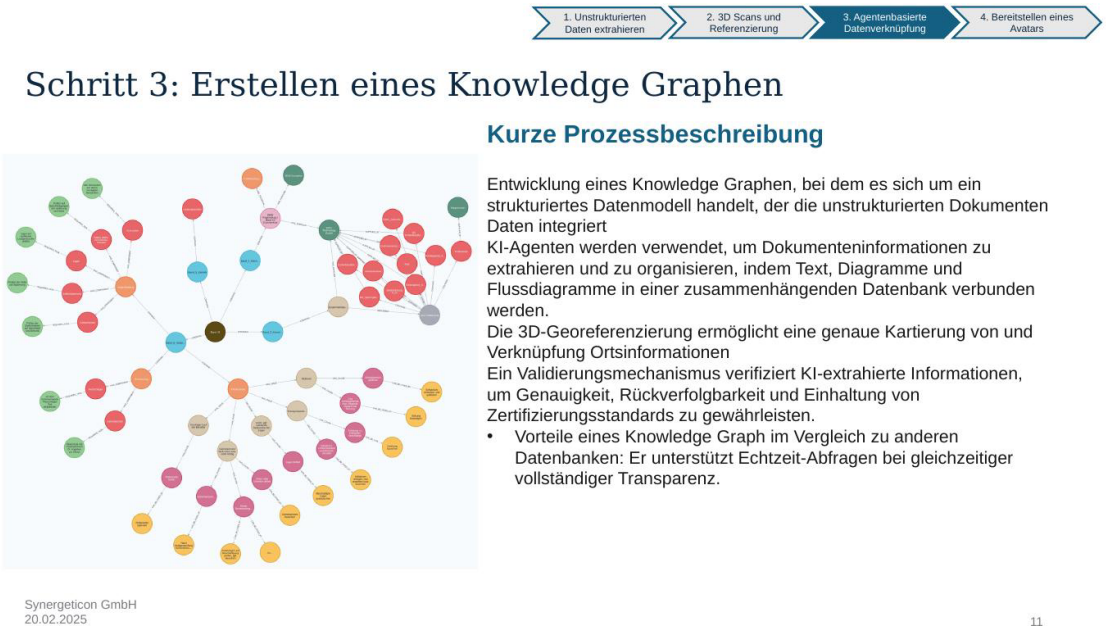

Abb. 7: Schritt 3 – Entwicklung eines Knowledge Graphen: KI-Agenten extrahieren und organisieren Dokumenteninformationen, ein Validierungsmechanismus sichert Genauigkeit und Rückverfolgbarkeit

Die Dokumentendaten werden je Fachdomäne Konstruktion, Mechanik, Elektrik und Instandhaltung extrahiert und in Teilgraphen (Subgraphen) überführt. Diese Subgraphen werden anschließend zu einem Gesamtmodell zusammengeführt. Das so entstehende semantische Modell verknüpft u. a. Knotentypen wie Bauteil (Component), Aufgabe (Task), Problem (Issue), Ursache (Cause), Lösung (Fix), Zeichnung (Drawing), Lieferant (Supplier) und Technische Spezifikation über typisierte Beziehungen (z. B. HAS_COMPONENT, REQUIRES_TASK, HAS_ISSUE, CAN_BE_FIXED_BY, SUPPLIED_BY, CONTAINS).

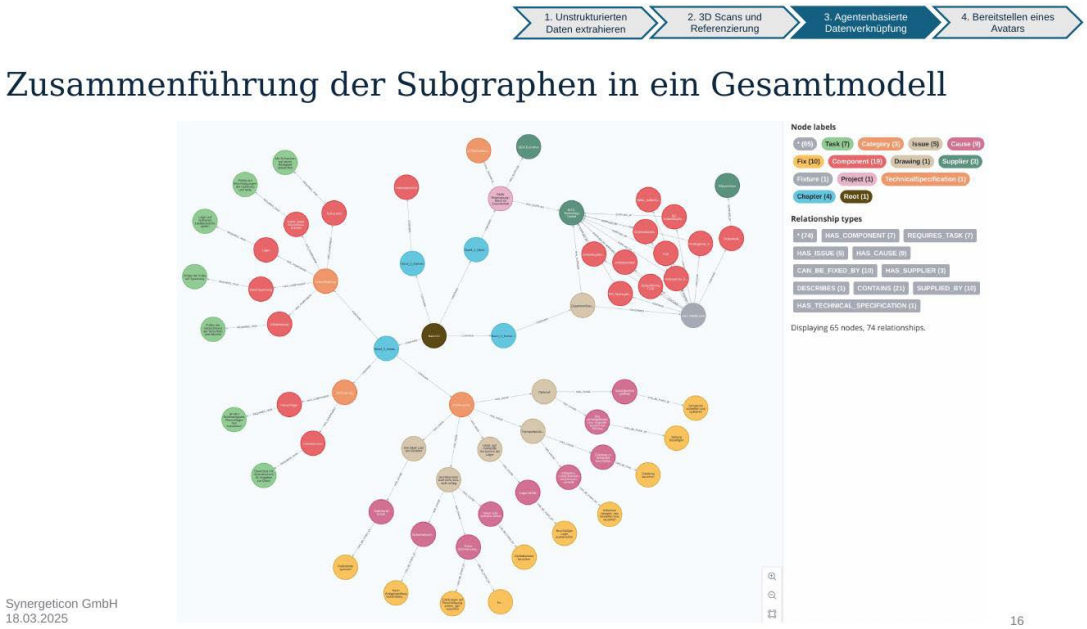

Abb. 8: Schritt 3 – Zusammenführung der domänenspezifischen Subgraphen (Konstruktion, Mechanik, Elektrik, Instandhaltung) in ein semantisches Gesamtmodell (Knowledge Graph mit typisierten Knoten und Beziehungen)

Abschließend erfolgt eine LLM-agentenbasierte Konfiguration der Datenmodelle und der Datenextraktion mit direkter Integration in das Common Data Model. Damit wird der erzeugte Knowledge Graph standardkonform an das gemeinsame Datenmodell des Verbundes angebunden. Die zugrunde liegende Architektur nutzt lokal betreibbare Open-Source-Modelle (u. a. Mistral über Ollama sowie Whisper) und ein mehrstufiges Agentensystem mit spezialisierten Sub-Agenten für Dokumentklassifikation, OCR-Analyse, Strukturvorschlag und Mappinglogik, die über rekursive, agentenbasierte Prompt-Ketten in modularen, wiederverwendbaren Workflows orchestriert werden. Die modulare Systemarchitektur ist auf eine spätere Erweiterung durch Custom-Tools und CDM-spezifische Regelwerke ausgelegt.

Abb. 9: Schritt 3 – LLM-agentenbasierte Konfiguration von Datenmodellen und Datenextraktion sowie Integration in das Common Data Model

Schritt 4 – Bereitstellung eines Avatars (Assistenzsystem)

Im vierten Schritt wurde erforscht wie die Bereitstellung und Anwendung eines Avatars als einfache, schnelle Benutzeroberfläche erfolgen kann. Dieser ermöglicht eine natürliche Interaktion über Sprachbefehle für den freihändigen Zugriff, eine kontextsensitive Anleitung in Echtzeit durch Abruf relevanter Reparatur- und Prozessdaten, die Integration der Graphdatenbank für den sofortigen Zugriff auf den gesamten strukturierten Datenraum sowie eine Multi-Device-Unterstützung (Tablets und Desktops). Der Avatar kann die strukturierten Daten in einen unmittelbaren, anwenderzentrierten Nutzen.

Abb. 10: Schritt 4 – Bereitstellung eines Avatars als natürlichsprachliche, kontextsensitive Benutzeroberfläche mit Zugriff auf den strukturierten Datenraum

2.6 AP 3.3 – Export in das Common Data Model

Synergeticon überführte das im Migrationsprozess strukturierte Modell (Bestandsdaten und zugehörige Informationen, z. B. Stücklisten) in das Common Data Model und stimmte die Anforderungen an CDM-konforme Daten mit den Projektpartnern ab. Dabei kamen die in AP 2.2 erarbeiteten Transportformate und Transformationsregelwerke sowie die in AP 1.8 entwickelte Knowledge-Graph-/Ontologie-Struktur und die LLM-agentenbasierte Integration zum Einsatz (vgl. Schritt 3).

2.7 AP 4.3 – Kommunikation und Verbreitung

Synergeticon beteiligte sich an der Öffentlichkeitsarbeit des Verbundes. Die Projektergebnisse wurden u.a. mit den Partnern auf der Hannover Messe 2024 und 2025 sowie auf der SPS – Smart Production Solutions in Nürnberg präsentiert. Weitere Beiträge erfolgten u. a. im Rahmen von Industry-Forum-, IDTA- und buildingSMART-Veranstaltungen. Ergänzt wurde dies durch kontinuierliche Kommunikation über die Social-Media-Kanäle sowie eine projektspezifische Webseite https://diamond-project.de/.

2.8 Überblick eingesetzter Methoden und Technologien

- Neutrale Datenformate und Standards: AutomationML (AML), Asset Administration Shell (AAS), Role/Interface Class Libraries (RCL/ICL).
- Methodik: LIPOK-/SIPOC-Analysen, Use-Case- und User-Story-getriebenes Vorgehen, Anforderungskatalog und „Big Picture“.
- Daten- und Schnittstellentechnologien: GraphQL/„Schema-First“ (GQLModelGen), JSON, XML, gRPC, API-Anbindungen.
- KI- und Vision-Komponenten: Computer Vision zur Dokumenten-/Bildsegmentierung, KI-Agenten und Large Language Models zur Extraktion, Verknüpfung und natürlichsprachlichen Abfrage; Knowledge-Graph-/Graphdatenbank-Modellierung mit Ontologie und Validierungsmechanismus.
- Erfassung und Erprobung: roboter-, drohnen- und handscannerbasierte 3D-Erfassung, 3D-Georeferenzierung, Interims-Migrationsumgebung, Demonstrator im BMW-Werk Regensburg.

3 Erzielte Ergebnisse

Das zentrale, am Projektende vorzeigbare Ergebnis des Teilvorhabens ist eine durchgängige, KI-gestützte Demonstrator-Lösung zur automatisierten Aufbereitung unstrukturierter Bestandsdaten. Sie extrahiert Informationen aus unstrukturierten Dokumenten (PDF, Excel, CAD, technische Zeichnungen), referenziert sie über 3D-Scans räumlich, überführt sie agentenbasiert in einen validierten Knowledge Graph und bindet diesen standardkonform an das Common Data Model an. Über einen Avatar werden die Daten natürlichsprachlich nutzbar gemacht.

3.1 Wissenschaftlich-technische und Software-Ergebnisse

- Methodik und Informationsmodell zur PPR-Kopplung auf Basis von AML/AAS inkl. RCL/ICL sowie dokumentierte User Stories für die grafische Programmierung.
- Beitrag zur gemeinsamen IT-Systemarchitektur (DIAMOND-Backbone) mit Transportformaten (JSON, XML, gRPC) und Transformationsregelwerken.
- Software-/Werkzeug-Ergebnis (Demonstrator-Lösung): Extraktions-Pipeline (Computer Vision), agentenbasierte Knowledge-Graph-Erzeugung mit Validierungsmechanismus, LLM-gestützte Konfiguration und CDM-Integration sowie ein Avatar-basiertes Assistenzsystem.
- Digitaler Zwilling / 3D-Referenzierung: roboter-, drohnen- und handscannerbasierte Erfassung der Produktionsumgebung und automatisierte Verknüpfung mit dem CDM (erprobt u. a. im BMW-Werk Regensburg).
- KI-Komponenten: Computer Vision, KI-Agenten und LLMs als integrierte, transparenz- und zertifizierungsorientierte Komponenten.

3.2 Erfüllungsgrad der Projektziele

Die wesentlichen Ziele des Teilvorhabens wurden erreicht: Die PPR-Kopplung auf Basis neutraler Formate wurde methodisch erarbeitet und erprobt, der Beitrag zur gemeinsamen IT-Systemarchitektur geleistet und nach der genehmigten Schwerpunktverlagerung in AP 1.8 wurde eine KI-gestützte Migrations- und Aufbereitungslösung als lauffähiger Demonstrator und vorwettbewerblicher Plattformbaustein erforscht.

4 Vergleich mit der ursprünglichen Vorhabenbeschreibung

Die wesentliche genehmigte Änderung betrifft die Verteilung des Arbeitsumfangs innerhalb des Teilvorhabens. Mit dem Ausscheiden des Partners ProCAD und den daraus folgenden Konsequenzen für die Zielsetzung wurde im Juli 2024 in Absprache mit dem Konsortium beschlossen, dass Synergeticon anteilig die ursprünglich von ProCAD in AP 1.8 vorgesehenen Aufgaben übernimmt. AP 1.8 wurde bis zum Projektende (31.10.2025) verlängert. Die übergeordnete Zielsetzung des Teilvorhabens blieb erhalten.

Folge der Änderung: Die Beteiligung von Synergeticon an Hauptarbeitspaket 2 (AP 2.3/2.4) sowie an den Arbeitspaketen AP 3.5 und AP 3.6 entfiel vollständig. Inhaltlich verschob sich der Schwerpunkt von der Cloud-/Dataspace-Verprobung hin zur KI-gestützten Aufbereitung und Migration von Bestandsdaten in das Common Data Model – ein Schwerpunkt, der die Kernkompetenzen von Synergeticon (KI, Computer Vision, Datenverarbeitung, grafische Programmierung) unmittelbar nutzte. Eine Anpassung der Projektziele war nicht erforderlich. Die Aussichten zur Zielerreichung änderten sich gegenüber dem Antrag nicht.

5 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die finanziellen Mittel, die im Rahmen des Verbundprojektes DIAMOND für das Teilvorhaben der Synergeticon GmbH zur Verfügung gestellt wurden, wurden strategisch und zielgerichtet verwendet, um die wissenschaftlichen und technischen Ziele effektiv zu erreichen. Die Verwendung der Zuwendung erfolgte in Übereinstimmung mit den Vorgaben des Fördermittelgebers (Zuwendungsbescheid) und orientierte sich an den konkreten Anforderungen der einzelnen Arbeitspakete.

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises gliedern sich wie folgt:

- **Personalkosten:** Ein Großteil der Fördermittel wurde für Personal eingesetzt, da die erfolgreiche Durchführung des Projekts stark von qualifizierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern abhing. Hierunter fielen Gehälter für wissenschaftlich-technisches Personal, Softwarespezialisten und unterstützende Mitarbeitende, die an der Entwicklung, Integration und Validierung der Technologien beteiligt waren. Die Personalkosten waren notwendig, um die fachliche Expertise sicherzustellen und die angestrebten Forschungsergebnisse zu erreichen.
- **Softwarelizenzen & Hardware:** Ein Anteil der Zuwendung wurde für spezialisierte Softwarelizenzen eingesetzt, die für die Entwicklung der KI-Komponenten notwendig waren. Abschreibbare, vorhabenspezifische Hardware wurde im Rahmen des Teilvorhabens nicht angeschafft.
- **Reisekosten und Veranstaltungen:** Ein vergleichsweise geringer Teil der Fördermittel wurde für Reisen und Veranstaltungen verwendet. Diese Position umfasste Ausgaben für Projekt- und Konsortialtreffen, Workshops sowie gemeinsame Messeauftritte. Dies war insbesondere für den Wissenstransfer, die Qualitätssicherung und die fortlaufende Anpassung der Projektergebnisse an industrielle Anforderungen relevant.

Die sorgfältige und transparente Verwaltung der Fördermittel erfolgte durch regelmäßige interne und externe Kontrollen. Diese beinhalteten eine fortlaufende Dokumentation aller Ausgaben sowie regelmäßige Berichterstattungen (jährliche Zwischennachweise) und Prüfungen durch den Fördermittelgeber, um die Einhaltung der Förderrichtlinien sicherzustellen. Dabei wurden alle Ausgaben auf ihre Angemessenheit und Zweckmäßigkeit hin überprüft.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Verwendung der Zuwendung zielgerichtet und effizient erfolgte. Die strategische Verteilung der finanziellen Mittel über die verschiedenen Ausgabenbereiche hinweg war angemessen und notwendig, um die angestrebten wissenschaftlichen und technischen Ziele zu realisieren.

6 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeiten

Die durchgeführten Arbeiten waren durchgängig notwendig und im Aufwand angemessen. Die saubere Anforderungserhebung (AP 2.1) war Voraussetzung, um die nachfolgenden Arbeiten im Hauptarbeitspaket 2 überhaupt belastbar bearbeiten zu können; ohne ein gemeinsames „Big Picture“ und einen abgestimmten Anforderungskatalog wäre eine konsistente IT-Systemarchitektur nicht erreichbar gewesen. Die PPR-Kopplung (AP 1.1) lieferte das Informationsmodell und die User Stories, auf denen die spätere Implementierung aufsetzte. Die Übernahme von AP 1.8 war notwendig, um trotz des Ausscheidens von ProCAD die Projektziele des Verbundes, insbesondere die Migration von Bestandsdaten in das Common Data Model zu sichern. Der jeweilige Ressourceneinsatz stand in unmittelbarem Verhältnis zum erzielten Ergebnis (Methodik, Architekturbeitrag, lauffähiger Demonstrator).

7 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit (fortgeschriebener Verwertungsplan)

Der Verwertungsplan bleibt gegenüber dem Antrag in seinen Grundzügen unverändert. Die Kernaspekte Integration neuer Technologien in die Produktpalette von Synergeticon, Bereitstellung standardisierter digitaler Modelle und Erschließung neuer Geschäftsmodelle werden weiterverfolgt.

7.1 Wirtschaftliche Verwertbarkeit

Durch das Forschungsprojekt kann Synergeticon perspektivisch neue Technologien schneller und effizienter in Produktionsprozesse integrieren und Informationen in neutralen Modellen bereitzustellen. Daraus ergeben sich neue Geschäftsmodelle im Bereich der assistierten oder automatisierten Planung und des Engineerings. Die KI-gestützte Datenaufbereitung eignet sich nach weiterer Entwicklung als Plattformbaustein, der die zeitaufwändige manuelle Sichtung unstrukturierter Dokumente ersetzt und Aufwände bei der Erstellung individueller Datenformate reduziert. Im Anschluss an das Projekt ist zunächst vorgesehen, die praktische Verwertbarkeit der Demonstrator-Lösung mit Partnern zu evaluieren, einzelne Komponenten in die modulare Systemplattform zu überführen und erste Pilotkunden zu gewinnen. Aufbauend darauf werden mittelfristig eine zunehmende Marktdurchdringung sowie steigende Aufträge und Lizenznachfragen erwartet. Eine spätere Markteinführung soll – ausschließlich nach Abschluss des Vorhabens – durch gezielte Marketing- und Vertriebsaktivitäten begleitet werden. Des Weiteren sind strategische Kooperationen und Partnerschaften mit Industrieunternehmen und Forschungseinrichtungen geplant, um den Technologietransfer zu beschleunigen und eine nachhaltige Marktetablierung sicherzustellen. Ein besonderes Marktpotenzial besteht bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), die häufig keine eigene Systemarchitektur für die semantische Datenintegration vorhalten; für sie ist eine lokal installierbare, leicht konfigurierbare und datensouveräne (On-Premise) Migrationsumgebung besonders attraktiv.

7.2 Technologische Verwertbarkeit und Integration in bestehende Lösungen

Die Rahmen der Demonstrator-Lösung erforschten Komponenten: Extraktions-Pipeline (Computer Vision), Knowledge-Graph-/Ontologie-Modellierung mit Validierungsmechanismus, LLM-gestützte Abfrage und Konfiguration, 3D-Referenzierung sowie ein auf Dauer weitererforschtes Avatar-Assistenzsystem sollen weiter evaluiert werden und sich künftig als Bausteine in die Produktpalette von Synergeticon überführen lassen können. Der „Schema-First“-Ansatz kann durch die Ergebnisse des Forschungsprojekts um neutrale Industrieformate erweitert werden.

7.3 Marktpotenzial, Kundennutzen und geplante Weiterentwicklung

Der Kundennutzen liegt in einer drastisch reduzierten Suchzeit für Informationen in komplexen Dokument- und Datenbeständen der Automobilproduktion sowie in durchgängigen, interoperablen und nachvollziehbaren Engineering-Workflows. Als geplante Weiterentwicklung ist, aufbauend auf der im Projekt erforschten Demonstrator-Lösung, der weitere Ausbau des digitalen, Agentic-AI-gestützten Assistenzsystems vorgesehen: natürliche Sprachinteraktion, kontextsensitive Echtzeit-Anleitung, Multi-Device-Unterstützung und durchgängige Begleitung der Mitarbeitenden durch alle Arbeitsschritte. Gleichzeitig eröffnen die Forschungsergebnisse die Möglichkeit, die gewonnenen Erkenntnisse über den Anlagenbau und das Engineering der Automobilindustrie hinaus auf weitere Branchen, wie die Luftfahrtindustrie, zu übertragen.

8 Fortschritt bei anderen Stellen während der Projektlaufzeit

Während der Projektlaufzeit wurden Entwicklungen Dritter relevant, die das Vorhaben beeinflussten. Im Vordergrund standen die rasanten Fortschritte bei Large Language Models (LLMs). Diese zeigten, dass die Kombination von LLMs mit grafischer Programmierung erhebliche Vorteile bietet: verbesserte Benutzerfreundlichkeit und Effizienz durch natürlichsprachliche Schnittstellen, Automatisierung durch Codegenerierung sowie eine verbesserte Integration und Interoperabilität zwischen Systemkomponenten. Synergeticon betrachtete diese Komponente daher stärker als ursprünglich geplant und adressierte zugleich deren regulatorische Grenzen (Black-Box-Problematik) durch transparente, validierbare Knowledge-Graph-Strukturen. Darüber hinaus waren die Entwicklungen rund um die Datenraum-Initiativen (Catena-X, Manufacturing-X, Factory-X) sowie die VDI-Initiative zur Überführung von Teilmodellen in die Standardisierung innerhalb der KoPa-35c-Projekte für das Forschungsprojekt relevant. DIAMOND wirkte u. a. im Manufacturing-X-Guidance-Board mit.

9 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Die Verbreitung der Projektergebnisse erfolgte im Berichtszeitraum vorrangig über Messe- und Konferenzauftritte auf Verbundebene. Das Verbundprojekt DIAMOND wurde u. a. auf der Hannover Messe 2024 und 2025, der SPS – Smart Production Solutions in Nürnberg, dem Industry Forum in Augsburg, den IDTA Tech Days sowie der BIM World Munich 2024 präsentiert. Dies wurde ergänzt durch projektbezogene Erklär- und Demonstrationsvideos sowie kontinuierliche Social-Media-Kommunikation (LinkedIn, YouTube). Zudem besteht eine projektspezifische Webseite (https://diamond-project.de/) auf der regelmäßig über das Projekt informiert wurde (u.a. Blogeinträge). Im Rahmen des Förderprojektes sind keine eigenständigen Fachpublikationen wie wissenschaftliche Artikel durch Synergeticon erfolgt.