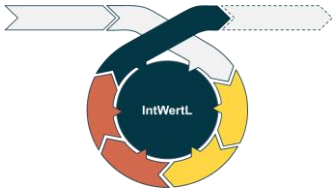

Karlsruher Institut für Technologie

Verbundprojekt:

IntWertL – Intelligente Wertschöpfungsnetzwerke für Leichtbaufahrzeuge geringer Stückzahl

Teilvorhaben: Wissenschaftliche Plattformentwicklung

Individueller Schlussbericht

Zuwendungsempfänger: **Karlsruher Institut für Technologie (KIT)** **Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe**	Förderkennzeichen **19S22003Q**
Vorhabenbeschreibung: **Verbundprojekt: IntWertL – Intelligente Wertschöpfungsnetzwerke für Leichtbaufahrzeuge geringer Stückzahl; Teilvorhaben: Wissenschaftliche Plattformentwicklung**	
Laufzeit des Vorhabens: **01.09.2022 bis 28.02.2026**	
Berichtszeitraum: **01.09.2022 bis 28.02.2026**	

Inhaltsverzeichnis

I. Abbildungsverzeichnis IV

II. Tabellenverzeichnis IV

1. Einleitung 1

2. Gesamtprojekt 2

3. AP1100 Prozess- & Anforderungsanalyse in der Plattformentwicklung 3
   - 3.1. UAP1110 Nutzer- und Prozessanalyse 4
   - 3.1. UAP1120 Funktionale Anforderungen an die Engineering Plattform 5
   - 3.2. UAP1130 Funktionale Anforderungen an die Produktionsplattform 6
   - 3.3. UAP1140 Technische Spezifikation der Plattformarchitektur und Schnittstellendefinition 7

AP2100 Implementierung eines funktionierenden Plattformprototypen 9
   - 3.1. UAP2110 Szenario 9
   - 3.2. UAP2120 Engineering Plattform fachlich 10
   - 3.3. UAP2130 Produktionsplattform fachlich 11
   - 3.4. UAP2140 Offene Basisplattform technisch 12
   - 3.5. UAP2150 Vorbereitung Andockmöglichkeiten an Plattform 13
   - 3.6. UAP2160 Validierungsphase für den Prototypen 13

4. AP2200 Weiterentwicklung Funktionalität Plattform 15
   - 4.1. UAP2220 Autonome Entscheidung mittels KI-Module 16
   - 4.2. UAP2230 Kontinuierlicher Verbesserungsprozess und Serviceoptimierung 17

5. AP4100 Prozessmodellierung, -management & -automatisierung 20
   - 5.1. UAP4110 Analyse der notwendigen Prozesse und Dienstleistungen 20
   - 5.2. UAP4120 Konzepte der Architektur der Assistenten 22
   - 5.3. UAP4130 Entwicklung der Module 24

6. AP5200 Erprobung und Validierung des dezentralen Engineering Netzwerk 27

7. AP5300 Erprobung und Validierung dezentrales Produktions- und Beschaffungsnetzwerk 29

8. AP6100 Markteinführung & Roll-Out der Entwicklungs- und Produktionsplattform 30

9. AP7100 Projektmanagement und Dissemination 32

Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

10. AP8100 Ökologische Bewertung des Plattformkonzepts und Integration von Life Cycle Assessment.....34
10.1. UAP8110 Anforderungen an die Ökobilanzierung 34
10.2. UAP8120 Ökologischer Nutzen der Engineering- und Produktionsplattform 35
10.3. UAP8130 Konzeptionierung einer Ergänzung der Module um LCA-Ansätze 35

Liste eigener Publikationen mit Projektbezug 38

Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

I. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Synthesemodell V1 3

Abbildung 2: Szenarioprozessmodell 10

Abbildung 3: KI-Modell zum Finden ähnlicher Teile in einer Datenbank. 17

Abbildung 4: S-Layer Synthesemodell V3 23

Abbildung 5: Auszüge aus dem in den Entwicklungssprints implementierten Projektinitiierungstool 26

Abbildung 6: Prozessmodell des Engineering-Netzwerks: Ableitung aus Customer Jouneys 27

Abbildung 7: Messestand des Projekts IntWertL auf der Hannover Messe als Teil des Themenbereichs Mobilität 33

II. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Nutzerrollen 4

Tabelle 2: Plattformprozesse 5

Tabelle 3: Validierungsergebnisse 14

Tabelle 4: Bewertungsperspektiven 18

Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

1. Einleitung

Das Projekt IntWertL verfolgte das Ziel, die digitale und nachhaltige Zusammenarbeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette in der Fahrzeugentwicklung und Produktion zu unterstützen (vgl. Veröffentlichung [5]). Hierzu wurde eine offene Plattform konzipiert und prototypisch umgesetzt, welche Unternehmen bei der Anbahnung, Planung und Durchführung von Engineering- und Produktionsaufträgen unterstützt. Im Mittelpunkt standen die Schaffung eines souveränen digitalen Ökosystems, die Integration dezentraler Datenräume, die Unterstützung kollaborativer Prozesse sowie die Entwicklung innovativer Methoden zur Vernetzung von Auftraggebern und Dienstleistern.

Das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) übernahm im Projekt insbesondere Aufgaben in den Bereichen Prozessmodellierung, Anforderungsanalyse, Plattformkonzeption, Validierung, Nachhaltigkeitsbetrachtung sowie wissenschaftliche Projektbegleitung. Darüber hinaus leistete das KIT wesentliche Beiträge zur Entwicklung von Schnittstellen, Datenmodellen, KI-basierten Assistenzsystemen und Demonstratoren sowie zur Dissemination der Projektergebnisse in Wissenschaft und Praxis.

Der vorliegende Bericht fasst die erzielten Ergebnisse zusammen, bewertet deren Beitrag zur Erreichung der Projektziele und dokumentiert die gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen aus der Projektlaufzeit. Zudem werden die Verwertungs- und Transferpotenziale der entwickelten Ansätze dargestellt.

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU

2. Gesamtprojekt

Das KIT wirkte maßgeblich in zwei von vier Kernteams mit und übernahm dabei die Leitung der Kernteams *Funktionale Architektur* sowie *Integrator*. Zudem erfolgte ein regelmäßiger Austausch und eine enge Koordination mit den Kernteams *Betreibermodell* und *Vertrieb*. Diese Kernteams wurden gegründet, um Entscheidungen insbesondere über Arbeitspaketgrenzen hinweg schneller und effektiver durchführen zu können.

Darüber hinaus beteiligte sich das KIT aktiv an der Vorbereitung und Mitgestaltung aller Gesamtprojekttreffen (GPT). Das KIT empfing alle Partner zum ersten regulären Projekttreffen nach dem Kick-Off (GPT II) und dem Abschlussevent (GPT XV). Neben der aktiven Teilnahme an Regelterminen, bilateralen Gesprächen und weiteren Treffen mit Projektbezug fielen auch deren kontinuierliche Vor- und Nachbereitung in den Aufgabenbereich des KIT.

Im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit und Repräsentation organisierte das KIT den Auftritt von IntWertL auf Gemeinschaftsstand der *Plattform Industrie 4.0* auf der Hannover Messe sowie den *IntWertL*-Stand auf dem *bwcon-Hightech-Summit* und nahm an beiden Veranstaltungen teil. Zudem vertrat das KIT das Projekt im Rahmen verschiedener Vernetzungsaktivitäten in Richtung der *Catena-X*- und *Tractus-X*-Community, insbesondere auch als Speaker beim *Catena-X Day 2025* – dem Branchentreffen in Stuttgart, präsentiert von der SSC-Services GmbH.

Ergänzend trug das KIT zur Gestaltung mehrerer Blogbeiträge bei und arbeitete eng mit dem AP6300 zur abschließenden Validierung und Analyse der Erreichung der geplanten TRL-Level zusammen.

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU

3. AP1100 Prozess- & Anforderungsanalyse in der Plattformentwicklung

In AP1100 wurden die prozessualen, organisatorischen und funktionalen Grundlagen für die Entwicklung einer digitalen Plattform im Kontext eines dezentralen Wertschöpfungsnetzwerks erarbeitet. Ziel war es, ein gemeinsames Verständnis über relevante Nutzerrollen, Plattformprozesse, Anforderungen sowie grundlegende architektonische Gestaltungsoptionen zu schaffen. Die Arbeiten dienten damit als methodische und inhaltliche Grundlage für die spätere Spezifikation der Plattformarchitektur, der Daten- und Wissensrepräsentation sowie der erforderlichen Schnittstellen.

Ein wesentlicher Fokus lag auf der strukturierten Beschreibung von Plattformnutzern und Plattformprozessen. Um eine nachvollziehbare und konsistente Dokumentation der Plattformlogik zu ermöglichen und die Ableitung technischer und organisatorischer Anforderungen unterstützen, wurde frühzeitig beschlossen durchgehend die formale, subjektorientierte Prozessmodellierungssprache PASS zu verwenden.

Im Rahmen mehrerer Workshops wurde gemeinsam mit den beteiligten Partnern ein Konzept für eine digitale Produktionsplattform (siehe Abb. 1) erarbeitet und hinsichtlich seiner Anwendbarkeit im industriellen Umfeld von IntWertL geprüft. Die diskutierten Gestaltungsoptionen wurden systematisch und prozessual strukturiert, um ein umsetzbares, skalierbares und nutzenorientiertes Plattformkonzept zu definieren.

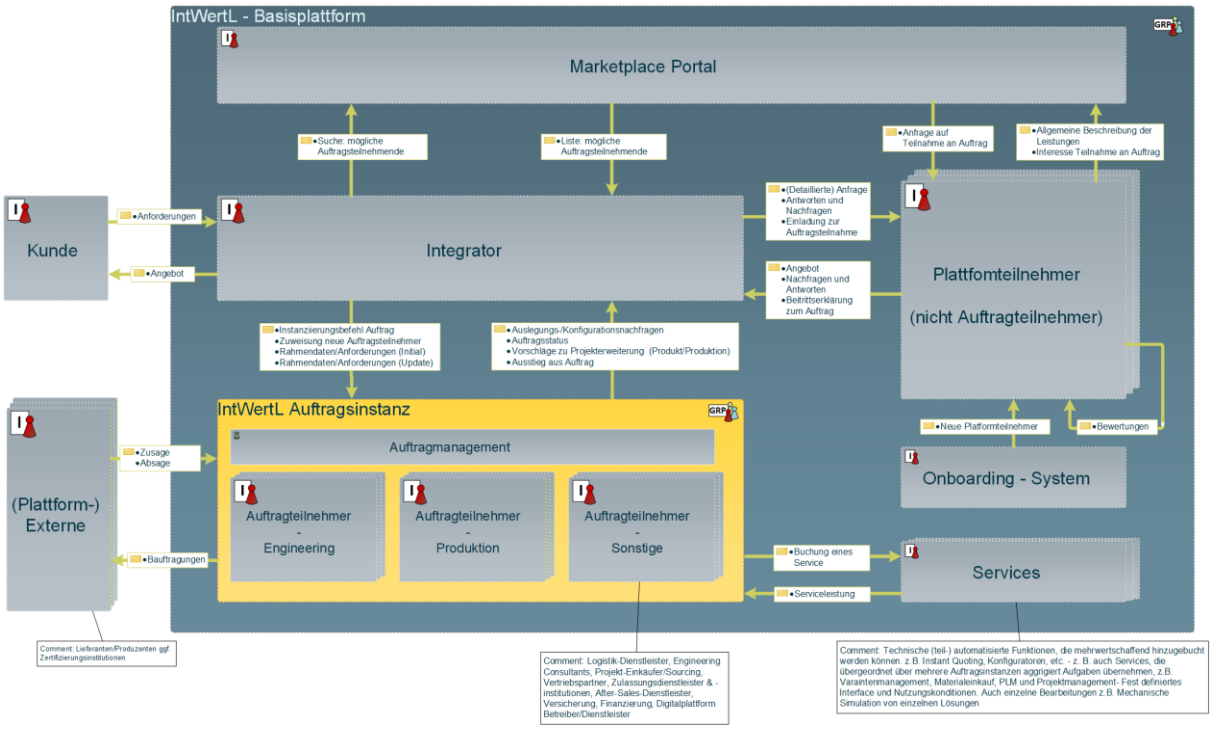

Abbildung 1: Synthesemodell V1

Als zentrale Auswahlkriterien für die Konzeption der IntWertL-Plattform wurden eine überschaubare Komplexität in der Umsetzung (besonders für die beteiligten KMU), die Skalierbarkeit über den bestehenden Teilnehmerkreis hinaus, ein klarer Kundennutzen im Produktionsumfeld hinsichtlich Kosten, Qualität und Zeit sowie eine faire, nachhaltige und kostenorientierte Auftragsvergabe festgelegt. Die

Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Anforderungen wurden dabei multimodal aufgenommen und aufbereitet, unter anderem über explorative User Stories und Interviews [1]. Ziel war es, ein gemeinsames Grundverständnis zwischen den Projektpartnern herzustellen und die Vielzahl möglicher Ausgestaltungsoptionen zu thematischen Gruppen zu aggregieren. Auf dieser Grundlage wurde eine durchgehende Prozesslogik für die Plattform abgeleitet.

Die Arbeiten des KIT in AP1100 gliederten sich in vier Unterarbeitspakete: die Nutzer- und Prozessanalyse, die Aufbereitung funktionaler Anforderungen an die Engineeringplattform, die Aufbereitung funktionaler Anforderungen an die Produktionsplattform sowie die technische Spezifikation der Plattformarchitektur einschließlich Schnittstellendefinition.

3.1. UAP1110 Nutzer- und Prozessanalyse

In UAP1110 wurden die relevanten Nutzerrollen und Plattformprozesse als Grundlage für die weitere Prozess- und Anforderungsanalyse und insbesondere AP4100 definiert. Ziel war es, ein gemeinsames Verständnis über die beteiligten Akteure, ihre Rollen im Wertschöpfungsnetzwerk sowie die wesentlichen Prozessbausteine der Plattform zu schaffen.

Die Nutzerrollen (siehe Tab. 1) wurden gemeinsam mit den Projektpartnern strukturiert und abgegrenzt. Dabei wurden sowohl Rollen auf Ebene der Plattformnutzung als auch Rollen im konkreten Auftragskontext berücksichtigt.

Tabelle 1: Nutzerrollen

Rollen	Definition
Kunde	Anwender. Nicht notwendigerweise ein Plattformteilnehmer. (z. B. Kommunen, KMU, etc.)
OEM	Original Equipment Manufacturer. – Markenverantwortung. Eine juristische Person, ggf. Zusammenschluss mehrerer Organisationen (z. B. Personengesellschaft.
Plattformteilnehmer	Juristische Person nach Registration auf der Plattform. (z. B. Einzelunternehmen, Personengesellschaften, etc.)
Serviceanbieter	Plattformteilnehmer die Lösungsanbieter auf der Plattform sind.
Integrator	Auftragsteilnehmer. Informationsprozess und Organisation der Auftragsteilnehmer. Kommunikation zur Kundenseite.
Auftragsteilnehmer	In der Netzwerkkonfiguration ausgewählte Plattformteilnehmer.

Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Neben den Nutzerrollen wurden die zu behandelnden Plattformprozesse (siehe Tab. 2) beschrieben. Diese Prozessübersicht ist insbesondere für folgende Arbeiten von Bedeutung, da sie als Referenzstruktur für die weitere Modellierung, Detaillierung und technische Umsetzung der Plattformprozesse in AP4100 genutzt wird.

Tabelle 2: Plattformprozesse

Prozesse	Definition
Registrierungsprozess	Akzeptieren der Modalen Hülle. Erfüllung von Standards -> Teilnehmer auf der Plattform.
Anfrageprozess / Auftragsprozess	Zustandekommen der Anfrage / des Auftrags auf der Plattform.
Anforderungsmanagement-prozess	Unterprozess des Auftragsprozesses. Abstimmung der Kundenanforderungen mit den möglichen Services.
Netzwerkkonfigurationsprozess	Auswahl der Auftragsteilnehmer unter Berücksichtigung der abgestimmten Anforderungen aus den Plattformteilnehmern.
Auftragsmanagementprozesse	Anstoßen und Orchestrieren der weiteren Prozesse eines Auftrages.
Controlling- / Monitoring Prozesse	Nachverfolgung der Auftragsabwicklung (Status, Visualisierung, Kosten, Zeit, etc.).
Engineering Prozesse	Erbringung von Engineering Leistungen (Entwicklung, Konstruktion, Simulation, etc.).
Produktionsprozesse	Erbringung von Produktionsleistungen (Fertigen, Montieren, etc.).
Unterstützungsprozesse	Nicht unmittelbar wertschöpfende Services, die nur in Verbindung mit Engineering- oder Produktionsprozessen Mehrwert bieten (z. B. Vertrieb, After-Sales, Zulassung, Qualitätsmanagement, etc.).

Die in UAP1110 erarbeiteten Rollen- und Prozessdefinitionen ermöglichten eine strukturierte Ableitung weiterer Anforderungen. Insbesondere die Prozesstabelle stellt eine belastbare Grundlage dar, um in zukünftigen Arbeiten Prozessmodelle weiter zu detaillieren, Schnittstellen zwischen Akteuren und IT-Systemen abzuleiten sowie Anforderungen an Datenmodelle und Plattformfunktionen konsistent zu beschreiben. Damit bildet UAP1110 den Ausgangspunkt für die anschließende Analyse der Engineering- und Produktionsplattform sowie für die Konsolidierung zu einer kohärenten Gesamtplattformarchitektur.

3.1. UAP1120 Funktionale Anforderungen an die Engineering Plattform

In UAP1120 wurden die funktionalen und organisatorischen Anforderungen an die Engineering Plattform herausgearbeitet. Im Mittelpunkt stand die Frage, wie Engineering Anfragen, Kompetenzen und verfügbare Leistungen innerhalb eines digitalen Plattformmodells strukturiert zusammengeführt werden können.

Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Ein zentrales Ergebnis war die Anforderung, die Engineering Plattform als digitalen Marktplatz auszugestalten. Integratoren sollen Engineering Anfragen einstellen können, während Plattformteilnehmer diese Anfragen annehmen oder eigene Leistungen aktiv anbieten können. Damit wird die Plattform als vermittelnde Instanz zwischen Nachfrage und Angebot von Engineering Leistungen positioniert.

Für ein effizientes Matching ist eine strukturierte Anforderungsbeschreibung erforderlich. Integratoren müssen Kundenwünsche sowie technische, organisatorische und zeitliche Anforderungen standardisiert erfassen können. Diese Beschreibung bildet die Grundlage für die spätere Identifikation geeigneter Plattformteilnehmer. Ergänzend dazu wurde die Notwendigkeit einer Selbstbeschreibungsfunktionalität der Plattformteilnehmer herausgearbeitet. Plattformteilnehmer sollen ihre Kompetenzen, Dienstleistungen, technischen Möglichkeiten und Kapazitäten eigenständig pflegen und präsentieren können.

Ein weiterer Kernpunkt ist das Kompetenz- und Anforderungsmatching. Die Plattform soll Anforderungen von Integratoren mit den Fähigkeiten der Plattformteilnehmer systematisch abgleichen, um geeignete Partner automatisiert oder teilautomatisiert zu identifizieren. Dieses Matching soll durch Filter- und Priorisierungsmechanismen ergänzt werden, beispielsweise hinsichtlich regionaler Nähe, Spezialisierung oder verfügbarer Kapazität. Dadurch kann die Auswahl potenzieller Partner weiter präzisiert werden.

Darüber hinaus wurden Anforderungen an die strukturierte Zuweisung und Vergabe von Aufträgen abgeleitet. Integratoren sollen Aufträge über die Plattform an geeignete Partner vergeben können. Plattformteilnehmer müssen wiederum die Möglichkeit haben, Aufträge anzunehmen oder abzulehnen. Im Fall einer Ablehnung soll eine erneute Zuweisung an alternative geeignete Partner erfolgen. Ergänzend wurden Zeit- und Kostenabschätzungen sowie ein Projektstatus-Tracking als wichtige Funktionen identifiziert. Bereits nach Definition der Anforderungen soll eine erste indikative Abschätzung von Zeit und Kosten bereitgestellt werden, um Transparenz und Planbarkeit zu erhöhen. Der Fortschritt laufender Projekte soll iterativ aktualisiert und für relevante Akteure transparent dargestellt werden.

Insgesamt definieren diese Anforderungen den Kernnutzen der Engineering Plattform. Gegenüber klassischen bilateralen Engineering Beziehungen ermöglicht sie eine strukturierte, transparente und skalierbare Vermittlung von Anforderungen und Kompetenzen innerhalb eines dezentralen Wertschöpfungsnetzwerks.

3.2. UAP1130 Funktionale Anforderungen an die Produktionsplattform

In UAP1130 wurden die funktionalen Anforderungen an die Produktionsplattform analysiert und zu einem Plattformkonzept verdichtet. Das Konzept wurde federführend von Instawerk ausgestaltet. Das KIT unterstützte insbesondere in dem identifizieren IntWertL-spezifischer Anforderungen, dem Abgleich mit dem aktuellen SotA, und der Integration in das Gesamtplattformkonzept. Die Produktionsplattform lässt sich in vier zentrale Teilbereiche gliedern: Datenbereitstellung, Fertigerzuweisung, automatisierte Bauteilkalkulation und Auftragsmanagement.

Der erste Teilbereich umfasst die Datenbereitstellung. Produktionsrelevante Daten aus bestehenden Systemen sollen zentral auf der Plattform zusammengeführt werden.

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU

Dazu zählen Informationen aus ERP-Systemen, CAx- & PLM-Systemen, Fertigungssteuerung, Qualitätssicherung und Logistik. Für das Projekt wurde angenommen, dass die Produktentwicklung abgeschlossen ist und relevante Daten wie Verfahrensdefinitionen, Stücklisten, CAD-Daten, technische Zeichnungen, Arbeitspläne sowie weitere Begleitdokumente verfügbar sind. Ergänzend kann eine Vorauswahl geeigneter Fertiger hinterlegt werden. Ziel dieses Teilbereichs ist eine konsistente Datenbasis, die fundierte Entscheidungen beschleunigt und die weitere Prozessabwicklung unterstützt.

Der zweite Teilbereich betrifft die Fertigerzuweisung. Geeignete Fertiger sollen auf Basis benötigter Verfahren, Maschinen und Kapazitäten ausgewählt werden. Die Fertiger hinterlegen ihre technischen Möglichkeiten und Verfügbarkeiten auf der Plattform, sodass eine gezielte Zuweisung unterstützt wird. Grundsätzlich wurden hierfür ein Push- und ein Pull-Prinzip unterschieden. Beim Push-Prinzip wählt der Auftraggeber geeignete Fertiger gezielt aus. Beim Pull-Prinzip erfolgt die Auswahl über eine inverse Auktion. Für den MVP wurde eine Push-Variante beschlossen, bei der Aufträge direkt zugewiesen werden und bei Ablehnung automatisch alternative Vergaben ausgelöst werden. Eine verfahrensbezogene Fertigerdatenbank begrenzt und strukturiert dabei die Auswahl geeigneter Auftragnehmer.

Der dritte Teilbereich umfasst die automatisierte Bauteilkalkulation. Auf Grundlage der hinterlegten Daten sollen die Kosten verschiedener Fertigungsverfahren, beispielsweise additiver Fertigung oder CNC-Bearbeitung, berechnet werden. Die technische Integration erfolgt über entsprechende Schnittstellen. Dadurch wird die Plattform befähigt, frühzeitig Kosteninformationen bereitzustellen und alternative Fertigungsverfahren bewertbar zu machen.

Der vierte Teilbereich betrifft das Auftragsmanagement. Dieses umfasst Funktionen zur Auftragszuweisung, Terminüberwachung und Statusverfolgung. Fertiger können Aufträge annehmen oder ablehnen. Im Fall einer Ablehnung soll automatisch eine alternative Zuweisung ausgelöst werden. Dadurch wird eine kontinuierliche Auftragsabwicklung unterstützt und der Koordinationsaufwand reduziert.

Durch die Umsetzung dieser vier Teilbereiche soll eine effizientere Produktionssteuerung mit reduzierten Kosten und Durchlaufzeiten ermöglicht werden. Die Produktionsplattform fungiert dabei als zentrale Instanz zur Integration von Daten und Prozessen. Weiteres Skalierungspotenzial ergibt sich insbesondere durch verbesserte Vorschlagsmechanismen bei der Fertigerzuweisung sowie durch die Bewertung alternativer Fertigungsverfahren.

3.3. UAP1140 Technische Spezifikation der Plattformarchitektur und Schnittstellendefinition

In UAP1140 wurden die zuvor erarbeiteten Anforderungen in Richtung einer technischen Plattformarchitektur und Schnittstellendefinition konsolidiert. Ziel war es, die funktionalen Anforderungen aus Nutzer-, Prozess-, Engineering- und Produktionssicht in eine kohärente Gesamtarchitektur zu überführen.

Im Kern dieser Überlegungen stand dabei eine vollkommen dezentrale Plattformarchitektur zu ermöglichen und so die Souveränität aller Plattformnutzer, im Sinne eines digitalen Ecosystems [2], zu jeder Zeit zu wahren.

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU

Ein zentraler Bestandteil war die Differenzierung zwischen plattformspezifischen und projektspezifischen Rollen. Plattformspezifische Rollen sind unabhängig von einzelnen Projekten und betreffen die generelle Verwaltung und Nutzung der Plattform. Projektspezifische Rollen beziehen sich dagegen ausschließlich auf konkrete Engineering- und/oder Produktionsprojekte. Dadurch kann ein Benutzer in einem Projekt beispielsweise als Integrator auftreten und in einem anderen Projekt die Rolle eines Auftragnehmers einnehmen.

Als plattformspezifische Rollen wurden insbesondere Administrator und Organisationsadministrator beschrieben. Der Administrator verwaltet Stammdaten wie Kompetenzen, Auftragnehmer und weitere projektrelevante Stammdaten. Der Organisationsadministrator kann die Stammdaten der eigenen Organisation anpassen. Auf projektspezifischer Ebene wurden die Rollen Integrator und Auftragnehmer unterschieden. Der Integrator erstellt und verwaltet Projekte, Objekte und Aktivitäten und fügt Auftragnehmer zu Projekten hinzu. Auftragnehmer erhalten Einsicht in die ihnen zugeordneten Projekte, Objekte und Aktivitäten. Zudem können sie Angebote hochladen sowie Aufträge akzeptieren oder ablehnen. Auftragnehmer umfassen dabei insbesondere fertigende und entwickelnde Unternehmen.

Darüber hinaus wurde die Anbindung externer beziehungsweise ergänzender Services als Teil der Plattformarchitektur betrachtet. Die Plattform soll Schnittstellen zu Services bereitstellen, die künftig angebunden werden können. Im gegebenen Kontext wurden hierfür insbesondere ein 3D-Viewer sowie ein Workflowmodellierungstool des KIT benannt. Diese Services unterstützen die digitale Abbildung und Bearbeitung technischer Artefakte und Prozesslogiken innerhalb der Plattform.

UAP1140 führte damit die Ergebnisse der vorherigen Unterarbeitspakete zusammen. Die in UAP1110 definierten Rollen und Prozesse, die in UAP1120 beschriebenen Anforderungen an die Engineering Plattform und die in UAP1130 erarbeiteten Anforderungen an die Produktionsplattform wurden in eine strukturierte Sicht auf Rollenmodell, Plattformfunktionen, Daten- und Serviceintegration sowie Schnittstellenanforderungen überführt. Damit wurde die Grundlage für eine ganzheitliche und kohärente Plattformarchitektur geschaffen.

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU

4. AP2100 Implementierung eines funktionierenden Plattformprototypen

In AP2100 stand die Entwicklung und Umsetzung eines funktionsfähigen Prototyps der Engineering- und Produktionsplattform im Mittelpunkt. Aufbauend auf den in AP1100 definierten Anforderungen wurde die Plattformidee in einen ersten durchgängigen Demonstrator überführt. Ziel war es, zentrale Plattformfunktionen nicht nur konzeptionell zu beschreiben, sondern in einer technisch nutzbares Minimal Viable Product (MVP) zu überführen und anhand eines realitätsnahen Anwendungsszenarios zu validieren.

Der Fokus lag insbesondere auf der Unterstützung der dynamischen kollaborativen Produktentwicklung, der Schnittstellenentwicklung, der Datenintegration sowie der zukünftigen Erweiterbarkeit und Generalisierbarkeit des MVP. Hierzu wurden methodische, fachliche und technische Beiträge zur Plattformarchitektur, zur Integration von Services, zur Aufbereitung produktions- und Engineering relevanter Daten sowie zur Validierung des Prototyps geleistet.

Das Arbeitspaket gliederte sich in sechs Unterarbeitspakete: die Entwicklung eines Szenarios, die fachliche Ausgestaltung der Engineering Plattform, die fachliche Ausgestaltung der Produktionsplattform, die technische Umsetzung der offenen Basisplattform, die Vorbereitung von Andockmöglichkeiten an die Plattform sowie die Validierung des Prototyps. Ergebnis von AP2100 war ein erster funktionsfähiger MVP, der 2023 am Gesamtprojekttreffen in Konstanz vorgestellt wurde. Die kontinuierliche Weiterentwicklung und Verstetigung des MVP erfolgte anschließend in AP2200 und AP4100.

4.1. UAP2110 Szenario

In UAP2110 wurde ein Szenarioprozessmodell (siehe Abb. 2) entwickelt, das die wesentlichen Plattformabläufe veranschaulicht. Das Modell diente zunächst als Blaupause für die Gestaltung des MVP und wurde später zur Validierung der implementierten Funktionalitäten herangezogen. Der Schwerpunkt lag auf dem Auftragsmanagement innerhalb eines Projekts sowie auf der Koordination der beteiligten Auftragsteilnehmer.

Das Szenario wurde so ausgelegt, dass das Anwendererlebnis der Plattform anhand weniger Engineering- und Produktionsprozesse demonstriert werden konnte. Als Modellierungsansatz wurde ein linearer Start-Ziel-Prozess gewählt. Dieser Prozess weist einen klaren Anfang und ein klares Ende auf und verzichtet bewusst auf Verzweigungen oder abweichende Prozesspfade. Dadurch wurde ein fokussiertes und nachvollziehbares Referenzszenario geschaffen, das sich für die prototypische Umsetzung und Validierung eignete.

Das KIT modellierte den Prozess subjektorientiert in der Modellierungssprache PASS. Im Mittelpunkt standen die IntWertL-Basisplattform und deren Kernfunktionalitäten. Durch eine begrenzte Anzahl ausgewählter Engineering- und Produktionsprozesse sollte ein möglichst großer Teil des späteren Anwendererlebnisses auf der Plattform abgebildet werden.

Als physischer Betrachtungsgegenstand diente eine Konsole, die als Verbindungselement zwischen Fahrzeuglängsträger und Nutzfahrzeugaufbauquerträger fungiert. Der modellierte Prozess umfasste die Projektinitiierung durch den Integrator Knebel, die

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU

Konstruktion durch DLR, die Simulation durch Lauer & Weiss, eine Optimierungsschleife, die Produktion durch Rosswag im 3D-Druck sowie die Qualitätskontrolle durch QS-engineering.

Das Ergebnis von UAP2110 umfasst die Beschreibung von Assistenzfunktionen zur Bedienführung und Prozessunterstützung, ein Grobkonzept der erforderlichen Schnittstellen, die Beschreibung von Datenmodellen sowie ein Konzept zur Anwendung. Darüber hinaus wurde ein validiertes Szenario erstellt, dessen Prozessmodell in PASS dokumentiert wurde. Dieses Modell beinhaltet sowohl SIDs als auch SBDs für die beteiligten Subjekte.

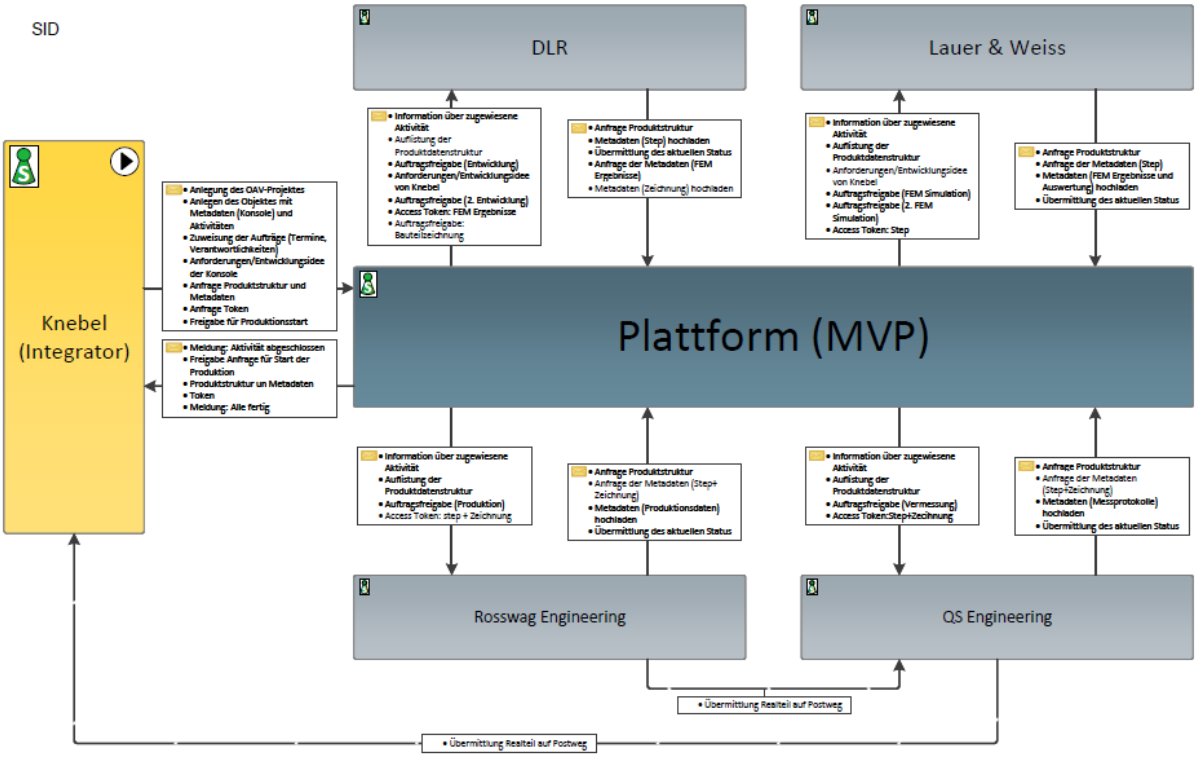

Abbildung 2: Szenarioprozessmodell

4.2. UAP2120 Engineering Plattform fachlich

In UAP2120 wurden die fachlichen Anforderungen und Potenziale der Engineering Plattform für den MVP untersucht. Im Mittelpunkt stand die Frage, wie durch eine digitale Engineering Plattform Effizienzsteigerungen und Kostenreduzierungen entlang der Wertschöpfungskette erreicht werden können.

Die Engineering Plattform wurde im Sinne von UAP1120 als neutraler Marktplatz verstanden, auf dem Angebot und Nachfrage zusammengeführt werden. Auf Basis eines ermittelten Bedarfs, etwa durch Konfiguration, Komponentenauswahl und Spezifikation, erfolgt die Anbieterauswahl über das Portal. Auch individuelle Entwicklungs- und Anpassungsleistungen wurden innerhalb dieser Plattformlogik verortet.

Zu den zentralen Hauptfunktionalitäten der Engineering Plattform gehören die Marktplatzfunktionalität, die Selbstbeschreibungsfunktionalität der Plattformteilnehmer, das Matching von Anforderungen und Fähigkeiten, die Zuweisung von Aufträgen an

Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Partner, die Annahme oder Ablehnung von Aufträgen durch Plattformteilnehmer, Zeit- und Kostenschätzungen für den Integrator sowie Projektstatusupdates.

Zusätzlich dient die Plattform als zentrales Kommunikations- und Vermittlungsinstrument. Es ist möglich auch strukturierte technische Informationen bereitzustellen und nutzbar machen. Relevante Informationen aus den beteiligten Systemen werden dazu als digitale Zwillinge abgebildet und dezentral bereitgestellt.

Im Rahmen des MVP wurde eine funktionsfähige und erweiterbare Plattform entwickelt, die erste Use Cases unterstützt. Die Plattform ermöglicht die Anfrage von Plattformteilnehmern nach dem Push-Prinzip, den Austausch von technischen Informationen (STEP AP242, technische Zeichnungen), sowie die Verwaltung von Angeboten und Aufträgen. Damit wurde ein fachlicher und technischer Ausgangspunkt geschaffen, um Engineering Prozesse über eine Plattformlogik systematisch abzubilden und in ein übergreifendes Wertschöpfungsnetzwerk einzubetten.

4.3. UAP2130 Produktionsplattform fachlich

Der Beitrag des KITs im UAP2130 lässt sich in zwei Bestandteile unterteilen. Der erste Bestandteil ist die Datenbereitstellung. Relevante Daten wurde gesammelt und auf der Plattform bereitgestellt. Aus dem Engineering können unter anderem Verfahrensdefinitionen, Stücklisten im CSV- oder PDF-Format, CAD-Daten im STEP-Format, technische Zeichnungen als PDF sowie Informationen zur Fertigerauswahl übernommen werden. Dadurch entsteht eine strukturierte Datenbasis für nachgelagerte Produktionsentscheidungen.

Der zweite Bestandteil bestand in der Konzeption der Produktionsplattform, dabei brachte das KIT insbesondere wissenschaftlich-methodische Kompetenzen bei der strukturierten Auswahl geeigneter Fertigungsunternehmen ein. Ein wesentlicher Beitrag des KIT bestand in der wissenschaftlichen Ausarbeitung eines methodischen Ansatzes zur Fertigerzuweisung zu entwickeln. Zur Ermittlung relevanter Produktionsparameter führte das KIT-Experteninterviews und Umfragen durch, wertete die Ergebnisse systematisch aus und ergänzte diese durch gezielte Literaturrecherchen. Dadurch konnten die Produktionsrelevanten Parameter ermittelt werden, die für das Matchmaking zur Suche des optimalen Produktionsunternehmen genutzt werden können. Die erhobenen Daten wurden außerdem für die Entwicklung ein Decision-Making-System (DMS) genutzt, die es dem Benutzer ermöglichen soll vor der Produktion eines Produktes das optimale Produktionsverfahren auszuwählen. Dieses DMS kann sowohl den Engineering Prozess, als auch das Matchmaking, unterstützen. Der Engineering Prozess wird unterstützt indem das Produkt beim Wissen des Produktionsverfahrens darauf optimiert entwickelt werden kann. Das Matchmaking wird vorherige Auswahl des Produktionsverfahrens deutlich vereinfacht.

Das KIT trug damit dazu bei, die Fertiger Zuweisung nicht ausschließlich von einzelnen Kosten- oder Kapazitätsinformationen abhängig zu machen, sondern als transparente und reproduzierbare Multikriterienentscheidung abzubilden. Darüber hinaus unterstützte das KIT die Einbettung der Fertigerzuweisung in das Gesamtkonzept der Produktionsplattform.

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU

4.4. UAP2140 Offene Basisplattform technisch

In UAP2140 wurden die technischen Grundlagen für den MVP geschaffen und die erforderlichen Zugriffsmechanismen implementiert. Die offene Basisplattform bildet die technische Grundlage für die Integration und Ausführung der unterschiedlichen Plattformfunktionen.

GFT entwickelte hierfür zentrale Services der Basisplattform. Die Plattform folgt einer modularen Microservices-Architektur, in der die einzelnen Komponenten flexibel zusammenarbeiten und unabhängig voneinander weiterentwickelt werden können. Ein spezieller Vermittlungsdienst leitet Anfragen aus der Benutzeroberfläche an die jeweils passenden Backend-Komponenten weiter. Für die interne Kommunikation zwischen den Diensten wird ein Nachrichtenvermittler eingesetzt. Ein zentrales Konfigurationssystem übernimmt die Verwaltung und Verteilung von Einstellungen für die verschiedenen Microservices.

Zur Speicherung strukturierter Daten wird ein relationales Datenbanksystem verwendet. Ergänzend kommt eine Such- und Analysekomponente zum Einsatz, die insbesondere für Log- und Telemetriedaten vorgesehen ist. Damit die einzelnen Dienste zuverlässig gefunden und adressiert werden können, wurde ein Serviceverzeichnis vorgesehen. Für Identitäts- und Zugriffsverwaltung ist ein dedizierter Authentifizierungs- und Autorisierungsdienst integriert. Dieser verwaltet Nutzerkonten, Rollen, Berechtigungen sowie zentrale Ein- und Auslogmechanismen.

Auf dieser technischen Basis wurden mehrere webbasierte Anwendungen umgesetzt. Dazu gehören ein Administrationsclient zur Pflege von Stammdaten, eine Oberfläche zur Verwaltung von Unternehmensprofilen und Fähigkeiten, ein Werkzeug zur Anlage und Steuerung von Projekten sowie ein Client zur Erstellung projektbezogener Auswertungen und Berichte.

Die Zugriffsverwaltung unterstützt grundlegende Funktionen wie Anmeldung über Benutzername und Passwort, Nutzer- und Rollenverwaltung, differenzierte Berechtigungsstrukturen, Single-Sign-On und zentralen Logout. Die Plattform unterscheidet dabei plattformspezifische Rollen wie Administrator und Organisationsadministrator sowie projektspezifische Rollen wie Integrator und Auftragnehmer.

Die Plattform strukturiert Projekte in Objekte und Aktivitäten. Aktivitäten können Objekten zugeordnet werden. Zudem können Projekt-, Objekt- und Aktivitätsmetadaten gespeichert werden. Auftragnehmer können Aufträgen zugeteilt werden. Die Plattform unterstützt außerdem das Hoch- und Herunterladen von Angeboten sowie die Information von Integratoren und Auftragnehmern über Neuigkeiten im Projekt.

Ein generisches und ereignisgestütztes Datenmodell wurde erstellt, das durch bidirektionale Anbindung die Beeinflussung von Systembeteiligten ermöglicht. Für den Einsatz der Eclipse Dataspace Components (EDC) wurden erste Evaluierungen vorgenommen. Dabei wurden lauffähige EDC-Instanzen in isolierter Umgebung aufgesetzt und getestet, allerdings noch ohne Integration in bestehende Softwaresysteme oder angebundene Datenhaltung. Diese Tests dienten der grundlegenden Funktionsprüfung.

Die Hauptaufgabe des KIT bestand darin die grundlegenden Entwicklungen zu begleiten und auf Konformität zu dem aufgestellten Szenario, Mehrwert für Nutzende, und Umsetzbarkeit in einem dezentralen Datenraum sicherzustellen. Unter Anderem

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU

wurden deswegen die zentralen APIs und Datenmodelle in Zusammenarbeit mit GFT und 3RS entwickelt.

4.5. UAP2150 Vorbereitung Andockmöglichkeiten an Plattform

Im Unterarbeitspaket UAP2150 wurden die Voraussetzungen geschaffen, um verschiedene Module und Services an die Plattform anbinden zu können. Im Mittelpunkt standen die Spezifikation der MVP-Architektur sowie die Analyse von Schnittstellen zwischen verschiedenen MVP-Bestandteilen.

Ziel war es, exemplarische Andockmöglichkeiten vorzubereiten und damit die spätere Erweiterbarkeit der Plattform zu unterstützen. Die Plattform sollte nicht als geschlossenes Einzelsystem ausgelegt werden, sondern als modular erweiterbare Umgebung, in der zusätzliche Services, Adapter und Module integriert werden können.

Motion Ray bereitete einen 3D-Viewer zur Visualisierung von Bauteilen vor. Die entsprechende Schnittstelle wurde erfolgreich erprobt. Der 3D-Viewer unterstützt die Kommunikation und Verständigung zwischen den Anwendern, indem er eine problemlose Visualisierung von Bauteilen und Baugruppen ermöglicht. Das KIT entwickelte hierfür einen spezifischen Converter für STEP-Dateien, um sie mit variabler Tessellierung in GLTF umwandeln zu können.

Das Ergebnis von UAP2150 umfasst die Bereitstellung exemplarischer Schnittstellen, Adapter und Vorbereitungen für die Integration weiterer Module. Damit wurde eine wichtige Grundlage geschaffen, um den MVP technisch zu erweitern und zusätzliche Services an die Plattform anzubinden.

4.6. UAP2160 Validierungsphase für den Prototypen

In UAP2160 wurden erste Tests und die qualitative Validierung der in AP1100 definierten Anforderungen und des Szenarios aus UAP2110 durchgeführt. Grundlage hierfür war ein Validierungsplan, der die in den Deliverables D213A, D214A und D217A beschriebenen Anforderungen an Basisplattform, Engineering Plattform und Produktionsplattform zusammenführte.

Für die Validierung erhielten die Nutzer eine Plattformdokumentation sowie individuelle Zugänge zum MVP. Anschließend prüften sie qualitativ, ob die Plattform die festgelegten Anforderungen erfüllt. Rückmeldungen konnten über eine GitLab-Vorlage als Tickets an die Entwicklungsteams gemeldet werden. Hierfür wurde ein GitLab-Projekt für Validierung und Issue-Management des MVP sowie weiterer Module aufgebaut. Zusätzlich wurden Vorlagen zur strukturierten Erfassung von Validierungsergebnissen erstellt und das GitLab-Repository zur Sammlung der Validierungsergebnisse gepflegt und ausgebaut.

Die Validierungsergebnisse (siehe Tab. 3) wurden in validierte und unvollständig umgesetzte Funktionalitäten gegliedert:

Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Tabelle 3: Validierungsergebnisse

Validiert	Anfragen durch Integratoren; Angabe von Kompetenzen und Dienstleistungen; Annahme von Anfragen; Darstellung von Kundenwünschen; Auftragszuweisung; Zeit- und Kostenschätzung; Zusammenstellung geeigneter Lieferketten; Planung von Tätigkeitsabläufen; Projektstrukturierung über Objekte und Aktivitäten; Task Management; Benachrichtigungen; Stammdatenverwaltung; Status Reporting
Unvollständig	Automatisches Matching, zum Validierungszeitpunkt nur manuell umgesetzt; Annahme und Ablehnung von Aufträgen; Projektstatusupdates; Unterstützung erster Use Cases; Datenbereitstellung; Fertiger Zuweisung, zum Validierungszeitpunkt nur manuell verfügbar; Auftragsmanagement; visuelle Planung, beispielsweise über Gantt-Diagramme

Die Ergebnisse der Validierung flossen in die weitere Projektarbeit ein. Sie bildeten zusammen mit den generalisierten Erkenntnissen aus MVP-Implementierung und MVP-Validierung einen wichtigen Input für AP2200, dessen Hauptaufgabe die Weiterentwicklung des MVP ist. Darüber hinaus wurden die Erkenntnisse wissenschaftlich aufbereitet. Die Veröffentlichung El Bobbou et al. (2025) „Design Science Research Approach to MVP-Validation using PASS Diagrams“ der S-BPM One Konferenz 2025 [6] fasst den Ansatz zur MVP-Validierung mit PASS-Diagrammen zusammen.

Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

5. AP2200 Weiterentwicklung der Funktionalität und des Funktionsumfangs der Plattform

In AP2200 stand die funktionale Weiterentwicklung der Plattform im Mittelpunkt. Aufbauend auf dem in AP2100 entwickelten MVP wurden bestehende Plattformfunktionen erweitert, neue Module konzipiert und integriert sowie die technische und funktionale Architektur weiter ausdifferenziert. Ziel war es, die Plattform von einem ersten funktionsfähigen Prototyp hin zu einer leistungsfähigeren, modular erweiterbaren und für zukünftige Anwendungsfälle anschlussfähigen Plattform weiterzuentwickeln.

Ein besonderer Schwerpunkt lag auf dem Zusammenspiel von Plattformarchitektur, Betriebs- und Betreibermodell sowie Geschäftsmodell. Diese Arbeiten erfolgten in enger inhaltlicher Verbindung zu AP3100 und AP3200. Dadurch wurde die Plattformentwicklung nicht isoliert als reine Softwareentwicklung betrachtet, sondern im Kontext organisatorischer, wirtschaftlicher und betreiberbezogener Anforderungen weitergedacht.

Zur Koordination der Weiterentwicklung wurden gemeinsame Regeltermine durchgeführt, insbesondere AP-übergreifend mit UAP4120 und UAP4130. Die Modulentwicklungen wurden in einem gemeinsamen GitLab-Projekt zusammengeführt. Dabei übernahm das KIT die Organisation und Pflege der gemeinsam genutzten GitLab-Umgebung. Hier wurden neue Module angelegt und die Übersicht über die laufenden Entwicklungsaktivitäten gepflegt. Dies unterstützte eine strukturierte, nachvollziehbare und kollaborative Weiterentwicklung der Plattform.

Neben der funktionalen Weiterentwicklung der Plattform wurde der Einsatz von KI zur autonomen Entscheidungsfindung untersucht. In diesem Rahmen wurde unter anderem der Einsatz generativer KI betrachtet und deren potenzieller Nutzen anhand eines Softwaredemonstrators aufgezeigt.

AP2200 gliederte sich in drei Unterarbeitspakete: die Erweiterung von Funktionalität und Funktionsumfang der Plattform, die Entwicklung KI-basierter Module für autonome beziehungsweise datenbasierte Entscheidungen sowie den kontinuierlichen Verbesserungsprozess und die Serviceoptimierung.

5.1. UAP2210 Erweiterung Funktionalität und Funktionsumfang der Plattform

In UAP2210 wurden Funktionalität und Funktionsumfang der Plattform erweitert. Im Mittelpunkt stand die Weiterentwicklung der Produktionsplattform und des Matchmakings, einer von GFT entwickelten Software für Integratoren und Dienstleister. Die Software unterstützt die effiziente Abwicklung von Dienstleistungsaufträgen im Bereich Fahrzeugentwicklung und -produktion.

Integratoren können über die Software Projekte anlegen und verwalten sowie Kundenanforderungen hinterlegen. Dazu zählen technische Informationen und Spezifikationen zu Baugruppen und Bauteilen. Anschließend identifiziert das System mithilfe eines Matchmaking-Mechanismus passende Anbieter und ermöglicht eine direkte Anfrage. Damit wird die Plattformfunktionalität erweitert, indem Anforderungen, Anbieterprofile und Auftragslogik stärker miteinander verknüpft werden.

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU

Im weiteren Verlauf unterstützt die Software klassische Funktionen der professionellen Auftragsabwicklung. Dazu gehören der Versand von Angeboten und Auftragsbestätigungen, die Bereitstellung von Preisinformationen sowie eine integrierte Chatfunktion für den Austausch zwischen den beteiligten Akteuren.

Die Weiterentwicklung umfasste mehrere Module und Funktionsbereiche. Die Projektverwaltung wurde um ein Matchmaking-Modul mit verbessertem Auftragsmanagement und integriertem 3D-Viewer erweitert. Das Benachrichtigungssystem informiert Nutzer gezielter über relevante Änderungen und Neuigkeiten in ihren Aufträgen. Für Dienstleister wurde das neue Modul „Anfragen & Bestellungen“ entwickelt, das die Verwaltung und Abwicklung von Aufträgen unterstützt. Zusätzlich wurde ein Diskussionsforum integriert, das den direkten Austausch zwischen Integratoren und Dienstleistern innerhalb der Software ermöglicht.

Damit trug UAP2210 wesentlich dazu bei, den MVP in Richtung einer stärker integrierten Arbeitsumgebung weiterzuentwickeln. Die Plattform unterstützt nicht nur die initiale Anfrage und Auswahl geeigneter Anbieter, sondern auch die weitere Abwicklung, Kommunikation und Verwaltung von Aufträgen innerhalb eines gemeinsamen digitalen Systems.

5.2. UAP2220 Autonome Entscheidung mittels KI-Module

In UAP2220 wurden KI-Module entwickelt, die Entscheidungsprozesse im Produktdesign, in der Fertigung und bei Kostenschätzungen unterstützen. Ziel ist die autonome und datenbasierte Verknüpfung von Designanforderungen, Fertigungsverfahren und Kostenfaktoren, um Entwicklungs- und Produktionsentscheidungen zu beschleunigen.

Ein Modul ist eine regelbasierte Matching-Komponente zur schnellen und reproduzierbaren Informationsextraktion aus Texten, die maßgeblich von Kenbun entwickelt wurde. Sie adressiert Anwendungsfälle, in denen Deep-Learning-Modelle zu aufwendig oder schwer steuerbar wären. Die Komponente ermöglicht hochkonfigurierbare Regeldefinitionen in YAML, die Beschreibung von Zielstrukturen wie Formular- oder UI-Elementen, unscharfe Textsuche, robuste Parser für Datums- und Zeitangaben sowie eine modulare Ausführung in Cloud- oder Edge-Umgebungen. Zudem ist eine Laufzeit-Rekonfiguration ohne Retraining möglich. Die Komponente kann als eigenständiges Werkzeug oder als Vorverarbeitungsmodul für KI-Pipelines eingesetzt werden. Dieses Modul wurde vom KIT ausgiebig getestet und ist über eine API in die Landing Page (s. UAP4130) integriert.

Weiterhin gab es eine Veröffentlichung über das Konzept des digitalen Fingerprintings als markierungsfreie und fälschungssichere Methode zur eindeutigen Bauteilidentifikation in der modernen Fertigung [11]. Anstatt physische Etiketten oder Data-Matrix-Codes anzubringen, nutzt das Verfahren die einzigartigen, mikroskopischen Oberflächenstrukturen der Bauteile. Die Autoren vergleichen zwei Bildverarbeitungsansätze – einen KI-basierten Vision Transformer (als Autoencoder) und die klassische Kantenfilter-Methode VisionPro. An einem Datensatz von 636 verzinkten Stahlblechen erreichten beide Ansätze unter konstanten Licht- und Ausrichtungsbedingungen eine Erkennungsrate von 100 %.

Ein weiterer Schwerpunkt lag auf generativer KI für CAD. Untersucht wurde, wie generative KI-Methoden für die Erstellung von 3D-CAD-Modellen eingesetzt werden können und wie sich der aktuelle Forschungsstand darstellt. Betrachtet wurden

Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

insbesondere lernbasierte Ansätze zur Generierung von CAD-Modellen aus Textbeschreibungen, zur Rekonstruktion von Geometrien aus Punktwolken, Bildern und ähnlichen Daten sowie zum Reverse Engineering von Design-Historien bestehender Geometriemodelle. Die Ergebnisse wurden in einem Survey Paper mit dem Titel „Learning-based 3D CAD Model Generation in Mechanical Engineering: A Survey“ [7] zusammengefasst und bei der Fachzeitschrift Advanced Engineering Informatics eingereicht. Ergänzend dazu erfolgte die Implementierung und das Testen einer Trainingsumgebung für KI-Agenten zur automatischen Generierung von CAD-Modellen, ein Softwaredemonstrator, der das Potenzial generativer KI für zukünftige CAD-gestützte Designprozesse exemplarisch veranschaulicht und mögliche Einsatzszenarien im Kontext der Ecovity-Plattform aufzeigt, sowie die Implementierung einer Reinforcement-Learning-Pipeline zur Rekonstruktion gegebener Zielgeometrien. Abbildung 3 zeigt die Oberfläche des Software-Demonstrators, welcher das KI-basierte Suchen von Teilen in einer Datenbank ermöglicht. Das hierzu trainierte Autoencoder-Modell kann als Grundlage für weitere generative Modelle genutzt werden. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse wurden zudem nächste Entwicklungsschritte für das KI-Tool geplant.

Insgesamt wurden in UAP2220 mehrere KI-basierte Bausteine entwickelt beziehungsweise konzipiert, die unterschiedliche Ebenen der Plattform adressieren: semantisches Textverständnis, regelbasierte Informationsextraktion, Aufwandsschätzung, KI-Modellbereitstellung und generative CAD-Unterstützung. Damit wurde die Grundlage geschaffen, um die Plattform perspektivisch um datengetriebene und assistierende Entscheidungsfunktionen zu erweitern.

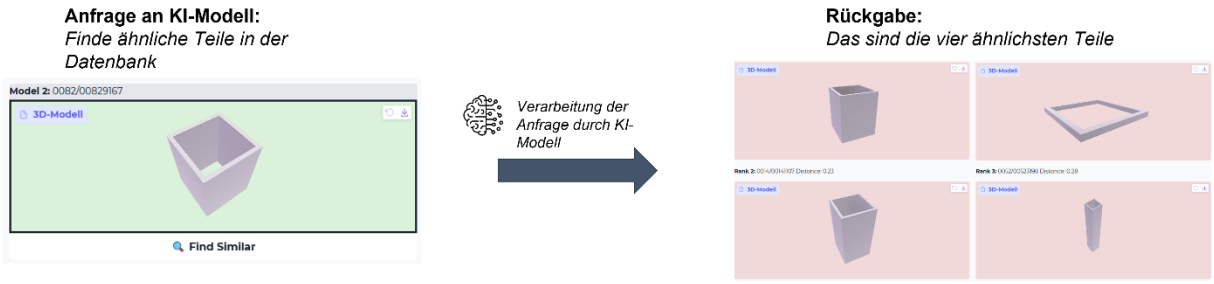

Abbildung 3: KI-Modell zum Finden ähnlicher Teile in einer Datenbank.

5.3. UAP2230 Kontinuierlicher Verbesserungsprozess und Serviceoptimierung

In UAP2230 wurde der entwickelte Prototyp iterativ weiterentwickelt, getestet und optimiert. Die Arbeiten erfolgten in Abstimmung mit AP5100, AP5200, AP5300, AP6100, AP6200 sowie AP6300. Zentrale Grundlage bildeten die technischen Rahmenbedingungen sowie die fachlich definierten Use Cases.

Ein Schwerpunkt lag auf der Weiterentwicklung und Feinabstimmung des UI-Konzepts. Dabei wurden die technische Machbarkeit und die identifizierten Anwendungsszenarien berücksichtigt. Ziel war es, das Bedienkonzept der Plattform weiter zu verfeinern und die Nutzerführung an die Anforderungen der unterschiedlichen Akteursgruppen anzupassen.

Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Darüber hinaus wurden Qualitätssicherungsmaßnahmen durchgeführt, um die Erfüllung funktionaler und fachlicher Anforderungen sicherzustellen. Softwarekomponenten wurden auf Basis der Ergebnisse aus Validierung und Tests überarbeitet und angepasst. Ergänzend wurden Evaluationsfragen und Bewertungskriterien erarbeitet, um den Prototyp systematisch beurteilen zu können. Die Evaluationsergebnisse wurden strukturiert dokumentiert. Zusätzlich wurden erweiterte Tests und Qualitätssicherungsmaßnahmen für den weiterentwickelten Prototyp durchgeführt.

Ein weiterer Bestandteil von UAP2230 war die Definition und Spezifikation eines MBSE-Moduls zur strukturierten Abbildung relevanter Systemaspekte. Zudem wurden Features der Baugruppen mit Fokus auf fertigungsspezifische Anforderungen festgelegt und beschrieben. Damit wurde die Verbindung zwischen technischer Produktbeschreibung, fertigungsspezifischen Anforderungen und Plattformfunktionalität weiter gestärkt.

Die Ergebnisse aus AP2200 wurden entlang zentraler Bewertungsperspektiven (siehe Tab. 4) zusammengefasst. Dabei wurden Funktionalität, Benutzerfreundlichkeit, Integrationsfähigkeit sowie Sicherheit und Datenschutz betrachtet. Das KIT übernahm in dieser Bewertung eine unterstützende Funktion. Im Kern der Entwicklungen des KIT standen *Rollen*, *Kundenauftragsverwaltung*, *Schnittstellen*, und *Plattformverbindungen*.

Tabelle 4: Bewertungsperspektiven

	Funktionalität	Benutzerfreundlichkeit	Integrationsfähigkeit	Sicherheit u Datenschutz
Registrierung	2-Faktor-Authentifizierung (2FA)	Die Registrierung klar strukturiert, die 2FA erfordert jedoch einen zusätzlichen Schritt	Die Registrierung kann leicht in bestehende Systeme eingebunden werden	Die 2FA erhöht den Schutz vor unbefugtem Zugriff erheblich
Rollen	Integrator, Kunden	Die klare Rollenzuteilung sorgt für eine einfache Bedienbarkeit für beide Nutzergruppen	Rollen lassen sich flexibel integrieren	Die Rollentrennung erhöht die Sicherheit, da nur notwendige Zugriffsrechte vergeben werden
Kundenauftragsverwaltung	Anfragen erstellen Stammdaten verwalten	Die Verwaltung ist übersichtlich, erfordert jedoch Grundwissen zur Nutzung	KIT kann gut in bestehende ERP- und CRM-Systeme integriert werden	Kunden- und Stammdaten müssen gemäß DSGVO geschützt verarbeitet werden

Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Schnittstelle Erstellung	JSON oder CSV-Format	JSON und CSV sind gängige Standards und daher leicht zu handhaben	Beide Formate bieten eine sehr hohe Kompatibilität mit unterschied-lichen Systemen	Die Schnittstellen sollen verschlüsselt übertragen werden, um Datensicherheit zu gewährleisten
Plattform Verbindungen	Verbindung in unterschiedlichen Kombinationen zwischen GFT, KIT, Kenbun, 3RS	Die Bedienung mehrerer Platt-formen erfordert etwas Einarbeitung, ist jedoch praktikabel	Die Plattformen sind auf Interoperabilität ausgelegt und lassen sich gut verbinden	Zugriffskontrollen und Rechtekonzepte sind erforderlich, um Sicherheit über Plattformgrenzen hinweg zu gewährleisten
Unterauftragssteuerung	Angebotsauf-forderungen Auftragsbe-stätigungen Fertigungsaufträge Lieferscheine und Rechnungen	Die Abläufe sind nachvollziehbar, können aber durch ihre Vielzahl komplex wirken	Die Prozesse lassen sich nahtlos in Produktions- und Lieferketten einbinden	Der Umgang mit Auftrags- und Rechnungsdaten erfordert hohen Schutz sensibler Geschäftsdaten

UAP2230 leistete damit einen Beitrag zur Verstetigung der Plattformentwicklung. Die Ergebnisse aus Validierung, Tests und Evaluation wurden genutzt, um die Plattform-funktionalität weiter zu präzisieren, die Bedienbarkeit zu verbessern, Integrationsaspekte zu strukturieren und Anforderungen an Sicherheit und Datenschutz systematisch zu berücksichtigen.

Die Ergebnisse von AP2200 stehen insgesamt in unmittelbaren Zusammenhang mit AP4100 und können nicht vollständig unabhängig betrachtet werden.

Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

6. AP4100 Prozessmodellierung, -management & -automatisierung

AP4100 adressiert die Analyse, Modellierung sowie die konzeptionelle Vorbereitung der Automatisierung zentraler Plattformprozesse entlang der digitalen Wertschöpfung. Ziel war es, eine konsistente und methodisch fundierte Grundlage für effiziente und skalierbare Prozessabläufe zu schaffen sowie Potenziale zur Digitalisierung und Automatisierung systematisch zu erschließen.

Die Prozessmodellierungen wurden am KIT federführend durchgeführt und bauen auf den Ergebnissen vorhergehender Arbeitspakete auf. Bestehende Prozess- und Datenstrukturen wurden analysiert, konsolidiert und in eine einheitliche Prozesssicht überführt. Darauf aufbauend erfolgte die Identifikation geeigneter Prozesse sowie relevanter Optimierungs- und Automatisierungspotenziale.

Ergänzend zur Prozessmodellierung wurden konzeptionelle und prototypische Arbeiten zur Unterstützung und technischen Umsetzung durchgeführt. Dies umfasst insbesondere die Entwicklung von Lösungsansätzen für die Integration, Erweiterbarkeit und durchgängige Nutzung von Daten und Funktionalitäten innerhalb der Plattform.

Die Ergebnisse des Arbeitspakets bilden die Grundlage für die in den folgenden Unterkapiteln beschriebenen methodischen Ansätze, Konzepte und prototypischen Umsetzungen. Das KIT hat zudem die Planung und Gestaltung von Regelterminen (insb. auch AP-übergreifend zwischen AP2200, 4120 und 4130) durchgeführt.

Aufgabe des KITs war laut Vorhabensbeschreibung auch die Dokumentation, dazu wurde die Planung des Modulzuschnitts, die Dokumentation und teilweise die Freigabe der Deliverables (für AP 4100 bzw. 2200) durch das Kit durchgeführt.

6.1. UAP4110 Analyse der notwendigen Prozesse und Dienstleistungen

In UAP4110 stand die ganzheitliche Analyse, Strukturierung und Modellierung zentraler Plattformprozesse der IntWertL-Basisplattform im Fokus. Ziel war es, wesentliche Interaktions-, Koordinations- und Managementprozesse entlang der digitalen Wertschöpfung transparent darzustellen, Optimierungspotenziale sichtbar zu machen und eine belastbare Grundlage für spätere Implementierungs- und Automatisierungsschritte zu schaffen. Die Prozessmodellierung erfolgte methodisch konsistent unter Anwendung des Paradigmas der Subjektorientierung und der Modellierungssprache PASS.

PASS ist als Prozessmodellierungssprache besonders gut geeignet für verteilte, kollaborative Prozesse und trennt konsequent zwischen der Interaktionssicht und der internen Verhaltenssicht der beteiligten Akteure. Hierzu werden zwei eng miteinander verknüpfte Diagrammtypen eingesetzt: das Subject Interaction Diagram (SID), welches die beteiligten Subjekte und ihre Nachrichtenbeziehungen ohne zeitliche Abfolge beschreibt, sowie die Subject Behavior Diagrams (SBD), welche die internen Zustände, Aktivitäten und Übergänge einzelner Subjekte detailliert abbilden. Diese Form der Modellierung eignet sich insbesondere für komplexe Plattform- und Netzwerkprozesse mit mehreren autonom agierenden Akteuren und wurde im Projekt IntWertL durchgängig eingesetzt.

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU

Die Prozessmodelle wurden federführend durch das KIT erstellt und im engen Austausch mit beteiligten Partnern abgestimmt. Durch diese enge Zusammenarbeit konnte sichergestellt werden, dass technische, organisatorische und fachliche Perspektiven gleichermaßen berücksichtigt und praxisnahe Modelle erarbeitet wurden.

Das KIT unterstützt bei der Modellierung aller Prozesse mit PASS; auch für andere APs; Finale Ausfertigung von Prozessmodellen als Deliverables für folgende Prozesse durch das KIT: Netzwerkkonfiguration, Anfrage- und Auftragsanbahnung, Auftragsmanagementprozess und Registrierung.

Der Auftragsmanagementprozess [D-411B] adressiert die Steuerung, Überwachung und Koordination laufender Projekte innerhalb der Plattform. Im Mittelpunkt steht die Rolle des Projektmanagers bzw. Integrators, der über die Plattform Aufgaben plant, Auftragsteilnehmer koordiniert, Fortschritte überwacht und auf Abweichungen oder Regelverstöße reagiert. Die Modellierung zeigt, wie sämtliche Kommunikation und Entscheidungsfindung zentral über die Plattform erfolgt und wie unterschiedliche Szenarien – etwa Verzögerungen, Umplanungen oder Eskalationen – systematisch abgebildet werden können. Durch die klare Strukturierung der Zustände, Nachrichtenflüsse und Entscheidungslogiken wird deutlich, welche Funktionalitäten die Plattform zur Unterstützung eines effektiven Projektmanagements bereitstellen muss.

Der Anfrage- und Auftragsanbahnungsprozess [D-411C] stellt einen zentralen Beitrag zur strukturierten und transparenten Interaktion zwischen Kunden, Dienstleistern und der IntWertL-Basisplattform dar. Durch die subjektorientierte Modellierung konnte eine klare und nachvollziehbare Darstellung der Prozesslogik erreicht werden. Besonders hervorzuheben ist die Ausarbeitung von drei Prozessvarianten – von einer vollständig manuellen über eine teilautomatisierte bis hin zu einer integrierten und weitgehend automatisierten Ausprägung. Diese Varianten verdeutlichen, wie ein einheitlicher Kernprozess flexibel an unterschiedliche Reifegrade, Organisationsformen und Anwendungsszenarien angepasst werden kann. Die Modelle zeigen anschaulich, wie durch zunehmende Plattformintegration manuelle Abstimmungen reduziert und Effizienzpotenziale realisiert werden können.

Der Netzwerkkonfigurationsprozess [D-411D] bildet die Grundlage für die Zusammenstellung geeigneter Projektpartner innerhalb der Plattform. Die Modellierung fokussiert insbesondere die Rollen von Integratoren und Plattformmitgliedern sowie deren Interaktionen über den Marktplatz. Durch die klare Darstellung der Kommunikationsbeziehungen und Entscheidungslogiken wird transparent, wie passende Dienstleister identifiziert, ausgewählt und in ein Projekt eingebunden werden können. Die erarbeiteten SID- und SBD-Modelle schaffen ein gemeinsames Verständnis der Plattformlogik und bilden eine anschlussfähige Basis für spätere Erweiterungen und technische Umsetzungen.

Der Registrierungsprozess [D-411E] beschreibt das Onboarding neuer Teilnehmer auf der IntWertL-Plattform. Im Zentrum stehen die Rollen des zukünftigen Teilnehmers, des Organisations-Administrators sowie der Unternehmensprüfung. Die Modellierung zeigt einen klar strukturierten Ablauf von der initialen Registrierung über organisationsinterne Prüfungen bis hin zur Freischaltung für die Plattformnutzung. Durch die saubere Trennung von Interaktions- und Verhaltenssicht wird nachvollziehbar, wie Verantwortlichkeiten verteilt sind und welche Prüf- und

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU

Validierungsschritte erforderlich sind, um die Qualität und Vertrauenswürdigkeit des Plattformnetzwerks sicherzustellen.

Die entwickelten Prozessmodelle zeigen insgesamt, dass der subjektorientierte Modellierungsansatz PASS hervorragend geeignet ist, komplexe Plattform- und Netzwerkprozesse verständlich, transparent und konsistent abzubilden. Die Ergebnisse leisten einen wesentlichen Beitrag zur Harmonisierung der Prozesssicht im Gesamtprojekt IntWertL und schaffen eine belastbare Grundlage für die weitere technische Ausgestaltung, Integration und Automatisierung der Plattform. Durch die enge Abstimmung zwischen den beteiligten Partnern und die konsequente methodische Vorgehensweise konnte ein hohes Maß an Praxistauglichkeit und strategischem Mehrwert erzielt werden.

6.2. UAP4120 Konzepte der Architektur der Assistenten

Die vom KIT verantworteten UAPs 4120 und 4130 bauten unmittelbar auf den konzeptionellen und methodischen Ergebnissen der vorangegangenen APs auf, insbesondere auf AP2100 und AP2200 sowie auf den Resultaten aus UAP4110. Eine enge inhaltliche Verzahnung bestand dabei mit AP2200, in dem zentrale Architekturprinzipien, Datenraumkonzepte und Integrationsmechanismen definiert wurden. Diese Grundlagen bildeten die Basis für die Ausarbeitung der Plattformarchitektur in UAP4120 sowie für die prototypische Umsetzung in UAP4130. Auf diese Weise wurde sichergestellt, dass konzeptionelle Entscheidungen konsistent bis auf die Umsetzungsebene fortgeführt wurden.

In UAP4120 lag der Schwerpunkt auf der konzeptionellen Ausgestaltung der Plattformarchitektur sowie auf der Definition intelligenter Assistenz- und Servicekonzepte. UAP4130 hingegen fokussierte sich auf die prototypische Realisierung dieser Konzepte in Form von Softwaredemonstratoren und modularen Softwareartefakten. Ziel war es, die im Projekt IntWertL entwickelten Use-Cases und Plattformprozesse nicht nur theoretisch zu beschreiben, sondern diese entlang konkreter Demonstrationsprozesse technisch erfahrbar zu machen.

Die Ergebnisse beider Arbeitspakete sind eng miteinander verzahnt und inhaltlich nur gemeinsam zu betrachten: Während UAP4120 den konzeptionellen Rahmen vorgibt, bildet UAP4130 die operative Umsetzungsebene. Beide Arbeitspakete sind dabei unmittelbar an die Ergebnisse aus AP2200 angebunden, in dem grundlegende Architekturentscheidungen, Datenflusskonzepte sowie die Einbettung in bestehende Datenraum- und Ökosystemstrukturen, insbesondere Catena-X, vorbereitet wurden.

Das Deliverable D-412A beschreibt das konzeptionelle Fundament der Plattformarchitektur des IntWertL-Ecosystems sowie deren prototypische Umsetzung in Softwaredemonstratoren. Ausgangspunkt ist das digitale Ökosystem EcoVity [10], dass im Projekt IntWertL als Referenzarchitektur für föderierte, datengetriebene Wertschöpfungsnetzwerke entwickelt wird. Die funktionale Architektur dieses Ökosystems wird in einem sogenannten Synthesemodell beschrieben, das als zentrales Ordnungs- und Referenzmodell für die Zuordnung von Akteuren, Anwendungsfällen und Softwaremodulen dient.

Das Synthesemodell liegt in mehreren Evolutionsstufen vor. Eine erste Version wurde bereits in frühen Projektphasen veröffentlicht und im Rahmen des MVP weiterentwickelt. Die im Kontext von AP4120 verwendete dritte Version stellt den

Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

aktuellen Arbeitsstand dar und reflektiert die kontinuierliche Weiterentwicklung des digitalen Ökosystems. Da digitale Ökosysteme per Definition dynamisch sind, wird auch das Synthesemodell regelmäßig angepasst und erweitert. Detaillierte Erläuterungen zur Modellierungsmethodik und Lesart des Synthesemodells sind in einer begleitenden Dissertationsschrift [2] dokumentiert; im Rahmen des Abschlussberichts liegt der Fokus auf den für die Softwaredemonstratoren relevanten Ebenen. Zentral für die Ableitung der Softwaredemonstratoren sind insbesondere der S-Layer (Siehe Abb. 4) und der F-Layer des Synthesemodells. Der S-Layer beschreibt die beteiligten Akteure und Rollen innerhalb des Ökosystems, während der F-Layer die zugehörigen funktionalen Fähigkeiten und Services abbildet.

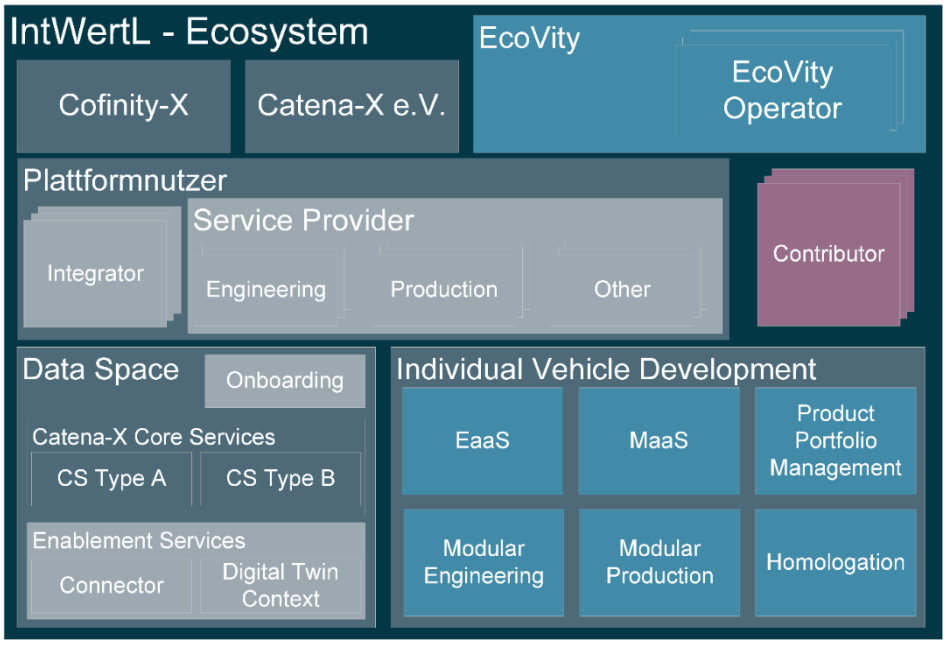

Abbildung 4: S-Layer Synthesemodell V3

Auf oberster Ebene sind die Orchestratoren des IntWertL-Ökosystems verortet, namentlich Cofinity-X, Catena-X e.V. sowie EcoVity. Darunter sind die Teilnehmer des Ökosystems angesiedelt, wobei der Rolle des Integrators eine besondere Bedeutung zukommt. Der Integrator fungiert als zentraler Koordinator innerhalb eines Projektes und übernimmt die Verantwortung für die Orchestrierung von Engineering-, Produktions- und Dienstleistungsnetzwerken. Diese Rolle wurde bereits in früheren Deliverables detailliert herausgearbeitet und bildet auch für die Architektur der Softwaredemonstratoren einen zentralen Ankerpunkt.

Die Anwendungsfälle des Ökosystems lassen sich in zwei übergeordnete Domänen gliedern: Data Space und Individual Vehicle Development (IVD). Im Rahmen der UAPs 4120 und 4130 liegt der Schwerpunkt klar auf der IVD-Domäne. Grundlagen dieses Konzepts wurden bereits von Bönsch et al. (2024) [5] beschrieben und im Projekt IntWertL weiter konkretisiert.

Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

6.3. UAP4130 Entwicklung der Module

Die Domäne IVD umfasst sechs eng miteinander verknüpfte Anwendungsfälle, die den vollständigen Lebenszyklus eines individualisierten Fahrzeugs von der Portfolioverwaltung bis zur Zulassung abdecken. Diese Anwendungsfälle bilden die inhaltliche Grundlage für die Konzeption der Softwaredemonstratoren und werden im Folgenden kurz zusammengefasst.

Product Portfolio Management (PPM) adressiert die strukturierte Verwaltung von Produkten, Projekten und Varianten über Organisationsgrenzen hinweg. Ziel ist es, eine einheitliche Sicht auf Produktlebenszyklen zu schaffen und eine Single Source of Truth innerhalb eines föderierten Datenraums zu etablieren. PPM bildet die Grundlage für Transparenz, Nachvollziehbarkeit und Steuerbarkeit in individualisierten Entwicklungs- und Produktionsvorhaben.

Engineering as a Service (EaaS) ermöglicht den bedarfsgerechten Zugriff auf Engineering-Leistungen innerhalb eines föderierten Netzwerks. Durch standardisierte Beschreibungen von Engineering-Fähigkeiten, Aufgaben und Schnittstellen können Entwicklungsleistungen flexibel vergeben, kombiniert und bewertet werden. Die Nutzung des Catena-X Dataspace stellt dabei Datensouveränität und Vertrauen sicher.

Modular Engineering (ME) verfolgt das Ziel, komplexe Entwicklungsaufgaben in klar abgegrenzte, modular strukturierte Teilaufgaben zu zerlegen. Durch definierte Schnittstellen, Semantiken und Workflows wird eine effiziente Zusammenarbeit insbesondere kleiner und mittlerer Unternehmen ermöglicht. Die Verantwortung für das Gesamtsystem verbleibt beim Integrator, während Teilaufgaben verteilt bearbeitet werden.

Manufacturing as a Service (MaaS) überträgt das Service-Paradigma auf die Produktion. Produktionskapazitäten und -fähigkeiten werden über standardisierte Beschreibungen zugänglich gemacht, sodass Fertigungsaufträge automatisiert vermittelt und koordiniert werden können. Ergänzende Funktionen wie Instant Quoting und Feedbackmechanismen erhöhen Transparenz und Vertrauen.

Modular Production (MP) fokussiert die operative Umsetzung verteilter Produktions-prozesse. Durch die Bereitstellung von Produktionsstatusinformationen, Prognosen und standardisierten Prozessbeschreibungen wird eine flexible, netzwerkbasierte Fertigung unterstützt.

Homologation adressiert die regulatorische Zulassung von Fahrzeugen und Komponenten. Dieser Anwendungsfall wurde im Projekt IntWertL nur am Rande betrachtet, da der Schwerpunkt auf Engineering- und Produktionsprozessen lag. Nichtsdestotrotz wurde Homologation konzeptionell im Synthesemodell verankert, um die Vollständigkeit der IVD-Domäne sicherzustellen.

Auf Basis des Synthesemodells und der beschriebenen Anwendungsfälle wurden in UAP4120 und UAP4130 mehrere Softwaredemonstratoren konzipiert und umgesetzt. Ziel dieser Demonstratoren ist es, zentrale Aspekte der Plattformarchitektur und der Use-Cases prototypisch erfahrbar zu machen. Hierzu wurden konkrete Demonstrationsprozesse definiert [D-412A], die unabhängig voneinander präsentiert werden können und jeweils ausgewählte Funktionalitäten des Ecosystems abbilden.

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU

Sie dienen dazu, technische Machbarkeit, Integrationsfähigkeit und Interoperabilität der Module zu demonstrieren.

Das UAP4130 war primär durch die Implementierung konkreter Softwarebestandteile geprägt. Die Ergebnisse dieses APs bestehen weniger aus klassischen textuellen Deliverables, sondern vor allem aus modularen Softwareartefakten, Schnittstellenimplementierungen und Prototypen. Die einzelnen Deliverables aus AP 4130 dokumentieren jeweils spezifische Softwarekomponenten, hier: Projektinitiierung, STEP-Converter und PASS Online Editor, und orientieren sich inhaltlich an den zuvor beschriebenen Anwendungsfällen sowie den definierten Demonstrationsprozessen. Die technische Umsetzung der Schnittstellen, Datenmodelle und Services ist in den entsprechenden Repositories nachvollziehbar dokumentiert und bildet die Grundlage für eine weiterführende Entwicklung über die Projektlaufzeit hinaus.

Im Rahmen von UAP4130 wurden weitere konzeptionelle und prototypische Arbeiten durchgeführt. Dazu zählt die weiterführende Konzeptionierung sowie die Entwicklung bzw. Entwicklungsunterstützung ergänzender Module im Kontext der Gesamtarchitektur. Ein zentraler Baustein war die Konzeption eines browserfähigen Moduls zur grafischen Workflowdefinition [D-413F], dass eine gleichzeitige Nutzung durch mehrere Anwender im Sinne eines Shared Editing ermöglicht. Zur technologischen Fundierung wurden Testprototypen aufgebaut, um notwendige Technologien zu evaluieren und geeignete Softwareframeworks auszuwählen; hierbei wurden unter anderem Redis, Neo4j, Vue sowie der Pinia Store identifiziert. Aufbauend darauf erfolgte der Entwurf einer Softwarearchitektur, die eine effiziente technische Umsetzung dieses Werkzeugs ermöglicht, einschließlich der ersten Konzeption eines Netzwerkprotokolls zur Verteilung von Modell-Updates an mehrere parallel arbeitenden Clients. In der Folge wurden Backend- und insbesondere Frontend-Komponenten des Workflow-Moduls auf Basis dieser Erkenntnisse weiterentwickelt und prototypisch umgesetzt. Dazu wurde ein Konferenzbeitrag zu webPASS veröffentlicht [8].

Parallel dazu wurde eine studentische Arbeit zur Entwicklung konfigurierbarer Nutzfahrzeuge geplant und kontinuierlich umgesetzt, deren Ergebnisse als Testdaten im Modul „Konfigurator“ verwendet werden. Der STEP-Converter [D413l] wurde ebenfalls am KIT umgesetzt.

Zusätzlich wurde ein browserfähiges Modul zur Projektinitiierung [D413B] auf Basis bestehender User Stories aus GIT konzipiert. Die Umsetzung erfolgte im Rahmen von mehreren mehrtägigen Entwicklungssprints („Hackathons“), wobei auch ein externer LLM-Service von Kenbun in das Tool integriert wurde. Abbildung 5: Auszüge aus dem in den Entwicklungssprints implementierten Projektinitiierungstool Die entwickelten Funktionalitäten wurden im Rahmen gemeinsamer Softwaredemonstrationen zu Meilenstein 5 vorgestellt. Darüber hinaus wurden erste Arbeiten zur Prozessmodellierung und prototypischen Umsetzung im Kontext der Nachhaltigkeitsintegration durchgeführt (Bezug zu UAP8130).

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der UAPs 4120 und 4130, dass das im Projekt IntWertL entwickelte Architektur- und Use-Case-Konzept geeignet ist, komplexe, föderierte Wertschöpfungsnetzwerke softwaretechnisch abzubilden. Die Kombination aus methodisch fundierter Architekturarbeit, klar definierten Anwendungsfällen und prototypischer Umsetzung in Softwaredemonstratoren stellt einen wesentlichen

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU

Beitrag zum Projekterfolg dar und schafft eine belastbare Grundlage für zukünftige Weiterentwicklungen des EcoVity-Ökosystems.

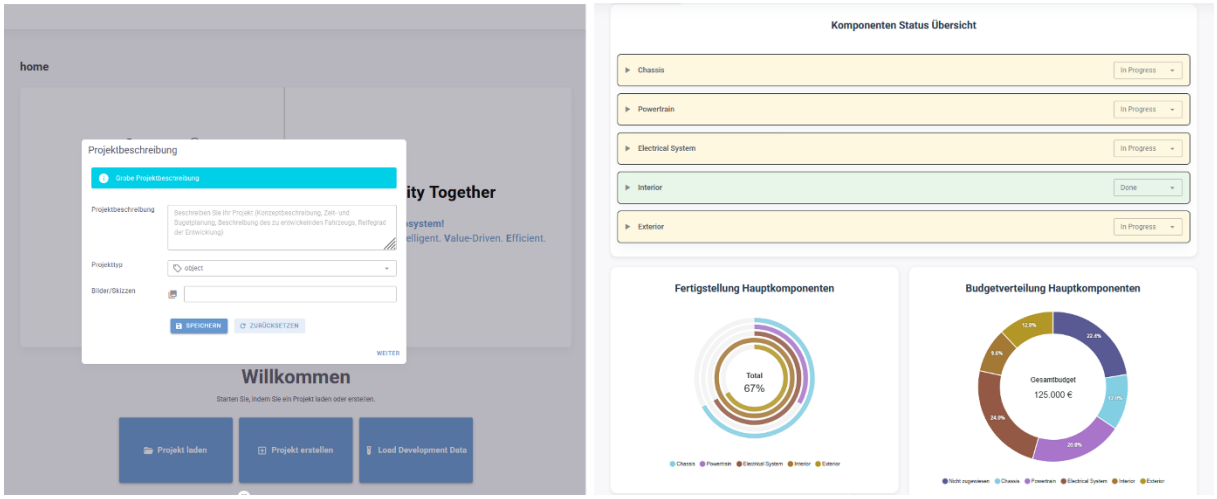

Abbildung 5: Auszüge aus dem in den Entwicklungssprints implementierten Projektinitiierungstool

Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

7. AP5200 Erprobung und Validierung des dezentralen Engineering Netzwerk

AP5200 widmete sich der Analyse, Konzeption und Ausgestaltung von Methoden zur Befähigung von Unternehmen für eine kollaborative Entwicklung von Fahrzeugen und Systemkomponenten. Ein zentrales Ziel war die gezielte Aufbereitung dieser Ansätze für die Integration in die EcoVity Engineering-Plattform, wobei der fachliche Fokus auf Leichtbau-Strukturoptimierung, Data Management, CAx-Prozessketten sowie dem Änderungs- und Qualitätsmanagement lag. Die Arbeiten des KIT konzentrierten sich hierbei insbesondere auf die Analyse dezentraler Engineering Netzwerke, deren Anbindung an Plattformstrukturen sowie die Identifikation notwendiger Softwarekomponenten zur Unterstützung kollaborativer Entwicklungsarbeiten. Ein wesentlicher Teil der KIT-Aktivitäten lag in der methodischen Weiterentwicklung spezifischer Engineering-Methoden, die gezielt auf die Anforderungen dezentraler Netzwerke und kleiner Stückzahlen angepasst wurden.

Ein maßgeblicher Beitrag des KIT bestand in der Unterstützung bei der Gewinnung eines gemeinsamen Systemverständnisses für die Engineering-Plattform. Dies war eine essenzielle Voraussetzung für die Erfüllung des Projektmeilensteins 2, welcher die Funktionsbereitschaft des Engineering-Plattform-Konzepts und dessen Demonstration entlang der Use Cases adressierte. In diesem Kontext leitete das KIT die Durchführung detaillierter Customer Journeys u.a. für das Basisszenario „kollaboratives Engineering“. Diese Workshops, an denen verschiedene Industriepartner beteiligt waren, dienten der eingehenden Analyse des Prozess Flows u.a. im Engineering-Netzwerk. Die Ergebnisse dieser Customer Journeys bildeten eine entscheidende Grundlage für mehrere Arbeitspakete und wurden als zentrales Deliverable für die spätere Validierung in AP6100 ausgearbeitet.

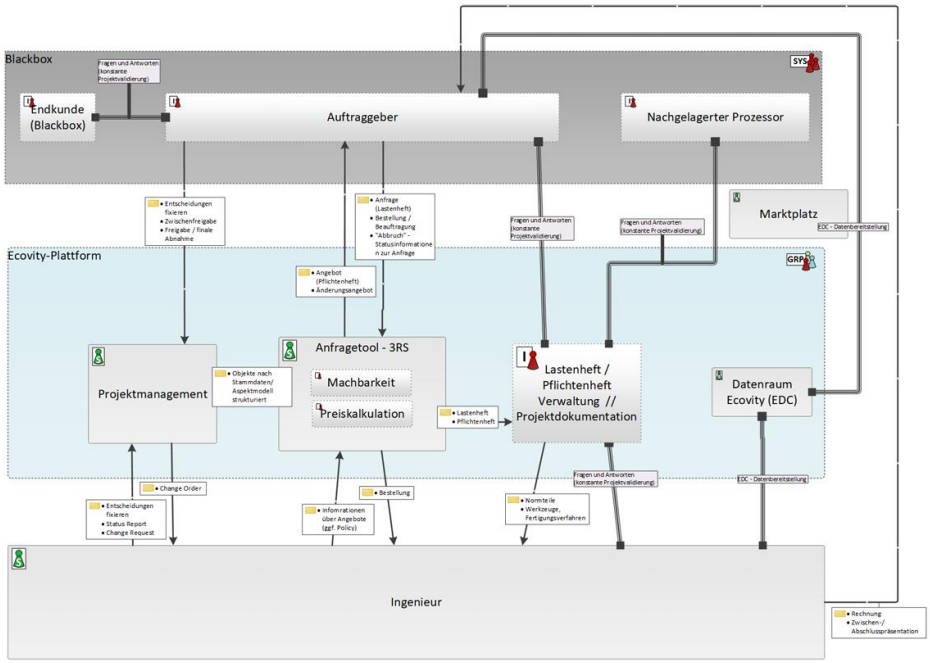

Abbildung 6: Prozessmodell des Engineering-Netzwerks: Ableitung aus Customer Jouneys

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU

Für UAP5210 wurden auch Ingenieure interviewt, um deren übliche Abläufe mit dem Umgang mit Engineering Projekten (Simulation & Konstruktion) zu erfassen. Dabei wurde darauf eingegangen, welche Probleme hierbei üblicherweise Auftreten und wobei die Plattform möglicherweise unterstützen könnte. Durch die Koordination des KIT wurden die Erkenntnisse aus den Customer Journeys in ein einheitliches Prozessmodell des Engineering-Netzwerks (siehe Abbildung 6) überführt. Das entwickelte Modell wurde unmittelbar mit den Rollen- und Prozessbildern aus der Anforderungsanalyse (AP1100) sowie der Plattform-Modulplanung (AP2100) integriert. Das resultierende Ergebnisdokument (521A) skizziert erstmals die Kommunikationspfade zwischen den Akteuren über die EcoVity-Plattform und fokussiert dabei auf die ingenieursspezifischen Interaktionen zwischen Auftraggeber und Ingenieur. In Übereinstimmung mit der Vorhabensbeschreibung zur Analyse dezentraler Netzwerke wurden hierfür vier zentrale Plattformbestandteile identifiziert: das Projektmanagement, ein Anfragetool, ein gemeinsamer Datenraum sowie eine virtuelle Projektdokumentation.

Da das Projektmanagement, das Anfragetool und der Datenraum bereits in anderen Arbeitspaketen operativ umgesetzt wurden, konzentrierten sich die weiteren Arbeiten in diesem AP auf die detaillierte Ausarbeitung der Projektdokumentation. Dieses Tool wurde als sogenannte „Objektbeschreibung“ konzipiert, die funktional einer dynamischen Lasten- und Pflichtenheftdokumentation entspricht und über den gesamten Projektverlauf kontinuierlich vervollständigt wird. Die Objektbeschreibung dient primär als zentrale Kommunikationshilfe zwischen dem Integrator und den Ingenieuren (Informationsgeber und -nehmer). Innerhalb des Tools werden alle relevanten Daten zu einem Entwicklungsobjekt konsolidiert gespeichert. Ein wesentlicher Vorteil liegt in der strukturierten Abfrage: Informationsnehmer können präzise definieren, in welcher Form sie Daten benötigen und wer diese bereitstellen kann. Dies reduziert Reibungsverluste und stellt eine effiziente Kommunikation innerhalb des dezentralen Engineering-Netzwerks sicher.

In der weiteren Ausgestaltung leitete das KIT die Aktivitäten des „Kernteam Integrator“ und überführte diese Impulse direkt in die inhaltliche Arbeit von UAP5210. Ein zentrales Ergebnis war das Deliverable 521C zur Ableitung informationstechnischer Entity-Relationship-Modelle. Um die spezifischen Anforderungen der Nutzer, insbesondere der Integratoren, abzubilden und eine nahtlose Integration der Geschäftsprozesse zu ermöglichen, eingesetzt wurde die ARIS-Methode. Durch diese systematische Vorgehensweise konnte die Komplexität des dezentralen Netzwerks in die Sichten Daten, Funktionen und Organisation heruntergebrochen werden.

Im Rahmen dieser Modellierung identifizierte und beschrieb das Dokument die zentralen Entitäten des kollaborativen Engineerings: (I) Plattformnutzer, (II) Projekte, (III) Aufgaben und Ressourcen sowie (IV) das gemeinsame Informationsmanagement. Eine erneute, intensive Betrachtung des (V) Entwicklungsobjekts schuf zudem die methodische Basis, um Fahrzeugstrukturen über mechanische, elektrische und elektronische Systeme sowie Software und virtuelle Hilfsentitäten (wie Simulationsmodelle) präzise abzubilden. Parallel zu diesen konzeptionellen Arbeiten übernahm das KIT die Revision und Qualitätssicherung der Deliverables aus dem UAP5210. Damit stellte das KIT sicher, dass die entwickelten Konzepte für ein Zusatzmodul zur Ingenieurskommunikation und die informationstechnischen Modelle eine robuste Grundlage für die weitere Verwertung im Projekt bilden.

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU

8. AP5300 Erprobung und Validierung dezentrales Produktions- und Beschaffungsnetzwerk

AP5300 unterstützte die Erstellung und Validierung der produktionsseitigen Plattformkomponenten von EcoVity mit Fokus auf Auftragsabwicklung sowie Produktionsplanung und -steuerung. Kernaktionen waren die Prüfung der Datenstruktur für automatisiertes Matchmaking und die Erarbeitung konkreter Verbesserungsvorschläge. Die Plattform wurde praxisnah in zwei Planspielen erprobt. Die Planspiel Teilnehmer testeten den MVP unter realistischen Bedingungen, dokumentierten ihre Erfahrungen in Validierungsberichten und lieferten Feedback für weitere Optimierungen. Die gewonnenen Erkenntnisse, darunter Parameterlisten, Datenmodelle und Matchmaking-Logiken, wurden strukturiert für andere Arbeitspakete aufbereitet und bereitgestellt, um eine nahtlose Weiterverwendung zu ermöglichen. Im Planspiel 2 wurde konkret ein modulares Entsorgungsfahrzeug für kommunale Betriebe konzipiert, das auf Aluminiumprofilen und recycelbaren Kunststoffplatten basiert. Ziel war ein reparierfreundliches, kreislauffähiges Fahrzeug, das ohne Spezialwerkzeug gewartet werden kann und flexibel an verschiedene Einsatzbereiche angepasst werden kann.

Das KIT unterstützte die AP-Leitung kontinuierlich bei der Strukturierung von Arbeitsinhalten sowie der Gestaltung und Durchführung von Regelterminen. Außerdem entwickelte das KIT im Rahmen des IntWertL-Projekts ein DMS (vgl. UAP2130). Zur Ermittlung der hierfür erforderlichen produktionsrelevanten Parameter führte das KIT-Experteninterviews und eine ergänzende Umfrage durch. Die Ergebnisse wurden systematisch ausgewertet, durch gezielte Literaturrecherchen ergänzt und in den zugehörigen Deliverables dieses Arbeitspakets dokumentiert.

Auf dieser Grundlage konnten die relevanten Produkt- und Produktionsparameter identifiziert werden, die sowohl für die Auswahl eines geeigneten Produktionsverfahrens als auch für das Matchmaking mit geeigneten Produktionsunternehmen genutzt werden können. Das KIT erstellte hierzu den Produzentenbefragungskatalog (Deliverable 531B) und unterstützte maßgeblich die finale Definition der Parameter (Deliverable 531C) sowie deren Gewichtung (Deliverable 531D).

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU

9. AP6100 Markteinführung & Roll-Out der Entwicklungs- und Produktionsplattform

AP6100 bildet den abschließenden Schritt auf dem Weg zur produktiven Einführung der im Projekt entwickelten Entwicklungs- und Produktionsplattform. Während in den vorangegangenen Arbeitspaketen die konzeptionellen Grundlagen geschaffen, technische Komponenten entwickelt und zentrale Funktionen validiert wurden, widmet sich das AP6100 dem Übergang in den realen Anwendungskontext. Im Mittelpunkt steht dabei die Frage, wie die Plattform erfolgreich in den Markt eingeführt, von Nutzergruppen angenommen und langfristig betrieben werden kann. Der Roll-Out beinhaltet sowohl die Planung und Durchführung der Markteinführung als auch die systematische Bewertung des Nutzens, der Bedienbarkeit und der Einsatzfähigkeit unter realen Bedingungen. Dazu wurden technische, organisatorische und marktorientierte Aspekte zusammengeführt, um ein stimmiges Gesamtbild zu erzeugen und eine reibungslose Einführung beim Anwender sicherzustellen.

Das übergeordnete Ziel des AP6100 war die Validierung der Lösungsarchitektur in Bezug auf die Integration von Plug & Play-Dienstmodulen und die Durchgängigkeit der Daten durch die Benutzerakzeptanztests der Funktionalität der digitalen Plattform. Aufgrund der andauernden Validierungsaktivitäten in vorangegangenen Projektphasen und Arbeitspaketen (AP2160) wurde mit der inhaltlichen Arbeit für AP6100 zu einem späteren Zeitpunkt, konkret im 1. Halbjahr 2025, begonnen. Die Rolle des KIT innerhalb dieses Arbeitspaketes konzentrierte sich maßgeblich auf die Unterstützung bei der Validierung der Anwendungsprozesse sowie der Plattformfunktionalitäten unter Berücksichtigung der entwickelten und dokumentierten Plattformprozesse. Dies umfasste insbesondere die Vorbereitung der Validierung, die Aufbereitung relevanter Informationen aus den technischen Arbeitspaketen sowie die Koordination der Arbeitsaktivitäten mit der Modulentwicklung.

In der Umsetzung der Aufgabenstellung leistete das KIT wesentliche Beiträge bei den Vorbereitungen der Validierung. Ein zentraler Punkt war hierbei die Weitergabe und gezielte Aufbereitung relevanter Informationen aus den APs 1100, 2100, 2200 und 4100. Diese Daten bildeten die notwendige Wissensbasis, um die Praxistauglichkeit der Plattform fundiert bewerten zu können. Ein Kernstück der KIT-Aktivitäten war die Ausgestaltung von sieben spezifischen Demonstrationsprozessen mittels der PASS-Methodik. Diese Prozesse wurden inklusive detaillierter Schnittstellenüberlegungen konzipiert, um sie einerseits direkt in der Validierung einzusetzen und andererseits als fundierte Grundlage für die Planung der Softwaredemonstrationen zum Projektende zu nutzen. Dies korrespondiert direkt mit den Anforderungen aus der Vorhabensbeschreibung, die eine Durchgängigkeit der Daten und eine Prüfung der End-to-End-Prozesse forderte.

Im Rahmen der Benutzervalidierung (UAP6110) unterstützte das KIT das Ziel, die entwickelten Plattformfunktionen auf ihre Praxistauglichkeit, technische Leistungsfähigkeit und Benutzerfreundlichkeit zu prüfen.

Eine wesentliche methodische Grundlage bildete hierbei das Deliverable 611A "Customer Journeys". In Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnern wurden in Workshops prozessorientierte Customer Journeys für unterschiedliche Persona entwickelt, darunter Vertriebler von Fahrzeugbauern, Ingenieure für Simulation, Konstruktion und Qualitätssicherung sowie Verantwortliche für die

Komponentenfertigung und Montageleitung. Durch das Durchspielen der Abläufe bei Anfrage- und Angebotserstellung konnten Inputs, Outputs und Schmerzpunkte identifiziert werden. Diese Customer Journeys ermöglichten es, Anforderungen an die Plattformkonzepte präzise abzuleiten und sicherzustellen, dass die Validierung die individuellen Bedürfnisse, Risiken und Chancen der verschiedenen Plattformteilnehmer widerspiegelt. Wie im Gesamtbericht dargelegt, standen dabei insbesondere Prozesse von der Registrierung über die Projektinitiierung bis hin zum Projekt- und Partnermanagement im Fokus. Die so gestalteten Demonstrationsprozesse halfen dabei, die realen Wechselwirkungen zwischen Unternehmen und Kunden abzubilden. Besonders die Validierung der KI-gestützten Funktionen profitierte von dieser fundierten Vorarbeit in der Prozessausgestaltung.

Ein weiterer Schwerpunkt für das KIT lag im Bereich der Dokumentation und Qualitätssicherung innerhalb der UAPs 6110 und 6130. Das KIT übernahm hierbei die Prüfung und Freigabe von Deliverables aus dem gesamten Arbeitspaket. Durch diese Qualitätssicherungsmaßnahmen wurde sichergestellt, dass die Dokumentation der Plattformprozesse den Anforderungen der Anwender entspricht und eine solide Basis für den späteren Betrieb bildet. Die Validierung der Plattform unter Einsatzbedingungen bestätigte, dass die Funktionen zur Projektanlage, zum Anforderungsmanagement und zur Partnerauswahl – Bereiche, für die relevante Informationen aus vorangegangenen Arbeitspaketen aufbereitet wurden – intuitiv und vollständig durchführbar sind. Die Anwender bestätigten, dass die Plattform die Strukturierung komplexer Inhalte effektiv unterstützt.

Hinsichtlich der Koordination und Rückführung der Ergebnisse (UAP6110, 6130 und 6140) etablierte und leitete das KIT einen kontinuierlichen Regeltermin für das AP6100. Dieser diente der engen Absprache und Koordination der Aktivitäten. Ein besonderes Augenmerk lag auf dem gemeinsam geleiteten Regeltermin mit den APs 2200, 4120, 4130 und 6100. Ziel dieser engen Verzahnung war es, die während der Validierung gewonnenen Erkenntnisse unmittelbar in die Modulentwicklung zurückzuführen. Diese koordinative Leistung des KIT stellte sicher, dass Anpassungen und Erweiterungen der Module basierend auf realem Nutzerfeedback erfolgen konnten, was die technische Reife der Plattform zum Projektende maßgeblich erhöhte.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Beiträge aus AP6100 wesentlich dazu beigetragen haben, die Brücke zwischen der technischen Entwicklung und der praktischen Nutzung zu schlagen. Trotz des späteren Starts der Aktivitäten konnte durch die methodische Aufbereitung der Demonstrationsprozesse, die konsequente Prüfung der Projektergebnisse und die Leitung der koordinativen Regeltermine eine erfolgreiche Validierung der Plattform realisiert werden. Die Ergebnisse belegen, dass die Plattform ihre vorgesehenen Ziele erfüllt und einen signifikanten Mehrwert für die Digitalisierung in der Leichtbaufahrzeugbranche liefert. Die aufbereiteten Prozesse fügen sich nahtlos zu einem durchgängigen End-to-End-Prozess zusammen, der eine solide Grundlage für zukünftige industrielle Anwendungen und eine mögliche Skalierung bildet.

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU

10. AP7100 Projektmanagement und Dissemination

AP7100 umfasste die Gesamtkoordination des Projekts IntWertL durch ein Projektmanagement (PM)-Team aus bwcon Research, KIT, Fraunhofer IPA und DLR. Ziel war das Projektmonitoring, die Sicherstellung der Erreichung aller Meilensteine sowie die Vernetzung und Moderation der Projektpartner. Das KIT übernahm dabei die stellvertretende Konsortialleitung sowie die Verantwortung für das Projektmonitoring.

Dazu etablierte das PM eine strukturierte Meetinglandschaft auf Konsortial-, AP-Leitungs- und PM-Ebene, nutzte kollaborative Tools wie NextCloud und Miro und führte 15 Gesamtprojekttreffen sowie monatliche Impulsvorträge durch. Zur Qualitätssicherung wurden ein AP-Tracking, ein Freigabeprozess und eine Schnittstellenübersicht entwickelt.

Inhaltlich unterstützte das PM die APs 3100 und 3200 bei Geschäftsmodellentwicklung und Veränderungsmanagement, koordinierte die Kooperation mit dem Catena-X-Netzwerk und begleitete Themen wie Roadmap, Verwertungsperspektiven und KMU-Bedürfnisse. Im Bereich Vermarktung wirkte das PM an der Entwicklung der Marke EcoVity mit und stellte Inhalte für die externe Kommunikation bereit.

Im Rahmen der Dissemination wurden Fachartikel, Pressemitteilungen und Social-Media-Beiträge veröffentlicht sowie Branchenevents wie die Hannover Messe 2025 bespielt. Das KIT war an zwei wissenschaftliche Veröffentlichungen in der Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF) als Referenzpapiere für die Projektdomäne beteiligt [5,10]. Abschließend wurden die Projektergebnisse Tractus-X-konform aufbereitet, um eine perspektivische Integration in die Catena-X-Umgebung zu ermöglichen.

Das KIT übernahm im AP7100 durchgängig zentrale Aufgaben im Gesamtprojektmanagement. Dazu zählten die verantwortliche Übernahme des Projektmonitorings zur kontinuierlichen Fortschrittskontrolle sowie die Moderation und Protokollierung von Regelterminen auf verschiedenen Projektebenen. Ergänzend hostete das KIT die Projekt-Webseite und beteiligte sich an der Inhalts Gestaltung dieser. Das KIT war maßgeblich an der Planung und Ausrichtung von Gesamtprojekttreffen beteiligt, insbesondere GPT II und GPT XV am KIT.

Inhaltlich gestaltete und moderierte das KIT Workshops zu den Themen Vision, Big Picture und Roadmap und wirkte an der Erarbeitung eines neuen Grobkonzepts für die Umsetzung von EcoVity-Lösungen mit. Parallel dazu führte das KIT umfangreiche Gespräche mit Catena-X und arbeitete sich intensiv in die veröffentlichten Catena-X-Materialien ein, um die Anschlussfähigkeit des Projekts sicherzustellen. In diesem Zuge wurde zudem ein detaillierter Abgleich der Vorhabensbeschreibung mit den geplanten und gelieferten Deliverables vorgenommen, mit besonderem Fokus auf erforderliche Anpassungen im Hinblick auf eine engere Anbindung an Catena-X.

Im Bereich der Außendarstellung war das KIT federführend an der Planung des IntWertL-Messestands auf der Hannover Messe 2025 beteiligt. Dazu wurden Stelen entworfen und Video und Software Inhalte erstellt. Auf der Standfläche wurde der im Projekt erarbeitete MVP auf zwei Touchdisplays vorgeführt. Damit konnten Interessierte den MVP live erleben. Außerdem wurden Videos die das Projekt beschreiben auf zwei Bildschirme abgespielt. Der in Planspiel 1 entwickelte und produzierte Kofferraumaufbau wurde als physischer Demonstrator ausgestellt (siehe

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU

Abbildung 7). Alle dieser Objekte und Inhalte wurden auf weiteren externen Veranstaltungen sowie folgenden GPTs weitergenutzt.

Abbildung 7: Messestand des Projekts IntWertL auf der Hannover Messe als Teil des Themenbereichs Mobilität

Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

11. AP8100 Ökologische Bewertung des Plattformkonzepts und Integration von Life Cycle Assessment

Das AP8100 adressierte die Fragestellung, wie ökologische Nachhaltigkeit systematisch und methodisch fundiert in die Produktentwicklung integriert werden kann. Ausgangspunkt war die Erkenntnis, dass wesentliche Umweltwirkungen eines Produktes bereits in der frühen Entwicklungs- und Designphase festgelegt werden, etwa durch Materialwahl, Fertigungsverfahren, Modularisierung oder Design-for-Recycling-Ansätze. Ziel war es daher, sowohl den ökologischen Nutzen konkreter Leichtbaukonzepte quantitativ zu bewerten als auch konzeptionelle Grundlagen für die frühzeitige Berücksichtigung von Umweltwirkungen in einer Engineering-Plattform zu entwickeln.

Im Projektverlauf zeigte sich, dass die ursprüngliche Vorhabenbeschreibung in Teilen angepasst werden musste. Insbesondere eine direkte quantitative Bewertung des Effekts von „Live-Engineering“ mit ökologischen Kennzahlen auf der Plattform konnte aufgrund des Entwicklungsstands der Gesamtplattform nicht realisiert werden. Stattdessen wurde der Fokus geschärft auf:

- die systematische Ableitung relevanter Wirkungskategorien und Anforderungen an die Ökobilanzierung (UAP8110),
- methodisch konsistente Ökobilanzen zweier Use-Case Fahrzeuge und eines Vergleichsfahrzeugs (UAP8120),
- sowie die Konzeption einer entwicklungsnahen Nachhaltigkeitsbewertungsmethodik als Ergänzung zur Plattform (UAP8130).

Die Arbeiten wurden vollständig durch das KIT (IIP – Institut für Industriebetriebslehre und industrielle Produktion und IMI – Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen) durchgeführt.

11.1. UAP8110 Anforderungen an die Ökobilanzierung

Im UAP8110 wurden zunächst die normativen und methodischen Grundlagen für die ökologische Bewertung analysiert. Aufbauend auf den Normen ISO 14040/14044 sowie ISO 14064–14067 wurden relevante Wirkungskategorien identifiziert und hinsichtlich Aussagekraft, Datenverfügbarkeit und Kommunikationsfähigkeit bewertet.

Ein zentrales Ergebnis ist, dass eine ausschließliche Fokussierung auf Treibhausgasemissionen zwar praxisnah, jedoch nicht ausreichend ist, um ökologische Nachhaltigkeit ganzheitlich abzubilden. Neben dem Klimawandel wurden daher u. a. folgende Kategorien als relevant identifiziert:

- Humantoxizität (karzinogen/nicht-karzinogen),
- Ökotoxizität (terrestrisch, Süß- und Meerwasser),
- Ressourcenverbrauch (fossil und mineralisch),
- Versauerung.

Diese Auswahl bildet die Grundlage für die nachfolgenden Bilanzierungen in UAP8120 und fließt konzeptionell in die Arbeiten zu UAP8130 ein. Gleichzeitig zeigte sich im Austausch mit Projektpartnern, dass ökologische Bewertung bislang weder zentraler Bestandteil industrieller Entscheidungsprozesse noch expliziter Fokus des

Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Gesamtprojekts war. Dies bestätigte die Relevanz vereinfachter, entwicklungsnaher Bewertungsansätze.

11.2. UAP8120 Ökologischer Nutzen der Engineering- und Produktionsplattform

Im UAP8120 wurden vollständige Ökobilanzen für drei Fahrzeugkonzepte erstellt:

- Use Case 1: Leichtbaufahrzeug AtTrack (Deliverable 811D),
- Use Case 2: Leichtbaufahrzeug Inyo (Deliverable 811C),
- Referenz: konventioneller batterieelektrischer Pkw (Deliverable 812B).

Die Bilanzierungen erfolgten konsistent über identische Systemgrenzen und Annahmen, um Vergleichbarkeit sicherzustellen. Es wurden sowohl cradle-to-gate- als auch cradle-to-cradle-Betrachtungen durchgeführt. Funktionelle Einheiten waren ein Fahrzeug über die angenommene Lebensdauer sowie Personenkilometer unter Berücksichtigung realitätsnaher Besetzungsannahmen.

Zentrale Ergebnisse sind:

- Die Produktionsphase des AtTrack verursacht ca. 6,0–6,2 t CO_2-Äquivalente, wobei Batterie und Getriebe die dominanten Beiträge liefern.
- Über den gesamten Lebenszyklus ergeben sich ca. 16,8 t CO_2-Äquivalente, wobei die Nutzungsphase – abhängig vom Strommix – einen wesentlichen Einfluss besitzt.
- Szenarien mit Photovoltaik-Strom zeigen signifikante Reduktionen über nahezu alle Wirkungskategorien.
- Im Vergleich weist der AtTrack in allen betrachteten Kategorien geringere Umweltwirkungen auf als der konventionelle E-Pkw; der Inyo liegt überwiegend zwischen beiden Konzepten.

Die Ergebnisse belegen, dass Leichtbaukonzepte insbesondere durch reduzierten Materialeinsatz und geringere Produktionsaufwände ökologische Vorteile bieten. Gleichzeitig wurde deutlich, dass Leichtbaufahrzeuge nicht alle Mobilitätsbedarfe ersetzen können, sondern gezielt bestimmte Fahrten substituieren. Die Bilanzierungen liefern damit eine belastbare quantitative Grundlage für die Bewertung des ökologischen Nutzens solcher Konzepte.

11.3. UAP8130 Konzeptionierung einer Ergänzung der Module um LCA-Ansätze

UAP8130 verfolgte einen konzeptionellen Ansatz zur Integration von Nachhaltigkeitsbewertung in die Entwicklungsphase von Produkten. Ausgangspunkt war die Erkenntnis, dass klassische Life Cycle Assessments aufgrund hoher Datenanforderungen und notwendiger Detailtiefe in der Regel erst nach Abschluss der Produktentwicklung sinnvoll anwendbar sind. Eine strukturierte Literaturrecherche und -analyse zum Thema: Quantitative Nachhaltigkeitsbewertungsmethoden, unter Beachtung der Anwendungsmöglichkeiten in digitalen Ökosystemen und Beachtung der gennannten Problemstellungen, zeigt, dass bisherige wissenschaftliche Ansätze nicht vollumfänglich gegebene Anforderungen erfüllen. Der Bedarf einer neuen Methode ist gegeben. Ziel des UAP war daher die Entwicklung eines vereinfachten,

Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

prospektiven Bewertungsansatzes, der bereits in frühen Entwicklungsphasen eingesetzt werden kann und Entscheidungsunterstützung im Designprozess bietet.

Um den Fokus und die Ausgestaltung der Bewertungsmethodik nutzerorientiert festlegen zu können, wurde zunächst eine empirische Umfrage zur Wahrnehmung ökologischer Nachhaltigkeit durchgeführt (Deliverable D813A) – ein methodischer Rahmen zur Gestaltung entsprechender Befragungen ist in Hauck et al. (2024) [3] veröffentlicht. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass Nachhaltigkeit von den Befragten primär über konkrete Produkteigenschaften wie Langlebigkeit, Reparierbarkeit, Recyclingfähigkeit und Materialwahl definiert wird. Der CO_2-Fußabdruck wird zwar als relevant wahrgenommen, jedoch häufig gegenüber nutzungs-, qualitäts- und gesundheitsbezogenen Kriterien nachrangig bewertet. Gleichzeitig besteht ein ausgeprägtes Bedürfnis nach transparenter, nachvollziehbarer und vergleichbarer Nachhaltigkeitsbewertung, während vereinfachte Labels oder pauschale Firmenversprechen kritisch gesehen werden. Zudem variiert die Wichtigkeit einzelner Wirkungskategorien stark in Abhängigkeit vom Nutzungskontext und der individuellen Perspektive. Diese Ergebnisse belegen, dass eine starre, eindimensionale Nachhaltigkeitskennzahl nicht nutzerorientiert ist, und lieferten zentrale Anforderungen für die Konzeption der Bewertungsmethodik.

Der Kern der konzeptionellen Bewertungsmethodik (D813B), teilweise inspiriert durch Absprachen mit verschiedenen Projektpartnern, vornehmlich GFT, ist ein wissensgrafbasierter Ansatz, der Produktstruktur, Lebenszyklusphasen, Prozesse, Optionen, Akteure und Bewertungswerte als vernetzte Knoten und Relationen abbildet. Die zugrunde liegende Struktur ist in drei Ebenen gegliedert:

1. die Objektebene mit Projekt, Baugruppen, Komponenten sowie Material- und Prozessoptionen,
2. die Phasen- und Prozessebene mit Produktion, Nutzung, End-of-Life und Transport,
3. die Bewertungsebene mit Emissions-Äquivalenten, Energie- und Wasserverbräuchen sowie explizit modellierten Unsicherheiten.

Der Wissensgraf ermöglicht Hot-Spot-Analysen entlang der Prozess- und Objektstruktur, Varianten- und Optionsvergleiche (z. B. Material- oder Fertigungsalternativen), regionale Anpassungen etwa über unterschiedliche Strommixe sowie den systematischen Umgang mit unsicheren oder geschätzten Daten, wie sie in frühen Entwicklungsphasen typisch sind. Der initiale Fokus der prototypischen Ausarbeitung liegt auf der CO_2-Berechnung, da hierfür die beste Datenverfügbarkeit in öffentlich zugänglichen Datenbanken besteht; weitere ökologische Wirkungskategorien sind jedoch konzeptionell vorgesehen und anschlussfähig.

Die im UAP8130 entwickelte Methodik zur entwicklungsnahen Nachhaltigkeitsbewertung wurde durch begleitende wissenschaftliche Arbeiten methodisch fundiert und validiert. Die Zusammenführung von Wissensgrafen, KI-Methoden und Nachhaltigkeitsbewertung in der Produktentwicklung wird in einer Veröffentlichung [4] in den Forschungskontext eingeordnet. Eine detaillierte methodische Ausarbeitung, einschließlich theoretischer Fundierung, Modellierungslogik und Bewertungskonzept, erfolgt im Rahmen einer laufenden Dissertation von Svenja Hauck. Die im Projekt entwickelten Konzepte bilden hierfür eine wesentliche inhaltliche Grundlage, während die Dissertation über den

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU

Projektkontext hinaus zur wissenschaftlichen Weiterentwicklung des Ansatzes beiträgt.

Zur Veranschaulichung der praktischen Anwendung wurde ergänzend eine beispielhafte Nutzerführung in Form eines Klick-Dummys entwickelt. Diese illustriert den vorgesehenen Ablauf von der Produktauswahl über die Definition der Bewertungsmetriken, die automatische Datenintegration aus dem Wissensgrafen, eine Vollständigkeitsprüfung, die Berechnung und Visualisierung der Ergebnisse bis hin zu Analyse-, Hot-Spot- und Variantenvergleichsfunktionen. Damit wird gezeigt, wie die konzeptionelle Methodik in eine nutzerfreundliche Softwarelogik überführt werden kann. In zwei Impulsvorträgen wurde das Konzept allgemein, die Methodik im Speziellen und eine prototypische Umsetzung durch Python-Skripte demonstriert.

Im Vergleich zu bestehenden Initiativen wie Catena-X verfolgt der im UAP8130 entwickelte Ansatz ausdrücklich keine rückwirkende, standardisierte Erfassung realer Lieferketten- und Produktionsdaten zur PCF-Berechnung. Stattdessen liegt der Fokus auf einer prospektiven, simulationsbasierten Nachhaltigkeitsbewertung zur Entscheidungsunterstützung in der Produktplanung und -entwicklung. Der Ansatz versteht sich damit als komplementär zu bestehenden Datenökosystemen, adressiert jedoch eine deutlich frühere Phase des Produktlebenszyklus und erweitert die Entwicklungsplattform um eine systematische, transparente und flexible Nachhaltigkeitsperspektive.

Insgesamt zeigt AP8100, dass ökologische Nachhaltigkeit sowohl quantitativ bewertbar als auch methodisch in frühe Entwicklungsphasen integrierbar ist. Die durchgeführten Ökobilanzen belegen den ökologischen Vorteil von Leichtbaukonzepten gegenüber konventionellen Elektrofahrzeugen. Gleichzeitig verdeutlichen die Arbeiten in UAP8130, dass klassische LCA-Ansätze für die Produktentwicklung nur eingeschränkt geeignet sind und durch vereinfachte, flexible Bewertungsmethoden ergänzt werden müssen. Mit der Kombination aus empirischer Nutzeranalyse, wissensgrafbasierter Methodik und konzeptioneller Nutzerführung liefert AP8100 eine belastbare Grundlage für die weitere Integration von Nachhaltigkeitsbewertung in digitale Engineering-Plattformen.

Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Liste eigener Publikationen mit Projektbezug

[1] Bönsch, J., Hauck, S., Elstermann, M., & Ovtcharova, J. (2023). An approach to create a common frame of reference for digital platform design in SME value networks. In *International Conference on Subject-Oriented Business Process Management* (S. 63–82). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-34003-1_5

[2] Bönsch, J. (2026). Engineering Digital Ecosystems: A methodology for model-based and subject-oriented design, Doktorarbeit, Karlsruher Institut für Technologie.

[3] Hauck, S., Greif, L., & Skade, K. (2024). A methodological framework for survey design: Investigating perceptions of product sustainability - A case study. In E. de la Poza Plaza, A. Blázquez-Soriano, R. Wang, & A. Sereni (Hrsg.), *Proceedings of the First International Conference on Sustainable Energy Education (SEED 2024)* (S. 699–707). Editorial Universitat Politècnica de València.

[4] Hauck, S., & Greif, L. (2025). Sustainable product development and production with AI and knowledge graphs. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, *120*(s1), 107–111.

[5] Bönsch, J., Jelschow, V., Haking, M., Bobbou, S., & Deisser, O. (2024). Intelligente Wertschöpfungsnetzwerke für individuelle Fahrzeugentwicklung. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, *119*(12), 902–906. https://doi.org/10.1515/zwf-2024-1173.

[6] El Bobbou, S., Geiger, J., Bönsch, J., & Ovtcharova, J. (2026). Design science research approach to minimal viable product validation using PASS diagrams. In M. Elstermann & M. Lederer (Hrsg.), *Subject-oriented business process management. Process customer satisfaction and process excellence* (S. 91–102). Springer Nature Switzerland.

[7] Baumeister, F., Bönsch, J., Chaumet, C., Dörr, L., & Meyer, A. (2025). *Learning-based 3D CAD model generation in mechanical engineering: A survey* (SSRN Working Paper). https://doi.org/10.2139/ssrn.5742425.

[8] Bönsch, J., Lizak, T., Heß, S., & Okello, L. P. (2025). webPASS: A lightweight web-native, collaborative PASS editor for subject-oriented process modeling. In *International Conference on Subject-Oriented Business Process Management* (S. 103–112). Springer Nature Switzerland.

[9] Greif, L., Bönsch, J., Lashkare, K., Arcidiacono, F., Zuehlke, T., & Ovtcharova, J. (2025). Robuste Bauteilidentifikation mittels digitaler Fingerabdrücke. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, *120*(s1), 232–235.

[10] Jelschow, V., Bönsch, J., Benz, S., Haking, M., Deißer, O., Bobbou, S. E., & Wellmann, I. (2026). EcoVity: Das digitale Ökosystem für die Entwicklung individueller Fahrzeuglösungen. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, *121*(3), 169–174.

Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU
Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages