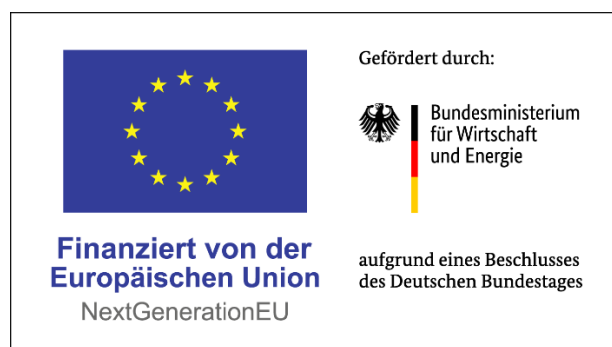


Abschlussbericht Teil I

Kurzbericht

Projekttitel:	Digitale Anlagenmodellierung mit neutralen Datenformaten
Kurzbezeichnung:	DIAMOND , Digitalisierung der Fahrzeughersteller und Zulieferindustrie KoPa 35c Modul a2
Förderkennzeichen:	13IK011G
Laufzeit:	01.11.22 – 31.10.25
Zuwendungsempfänger:	Festo SE & Co. KG
Ansprechpartner:	Manuel Paul
Datum:	19.01.2026
Version:	1.0
Verbreitungsgrad:	öffentlich



Inhaltsverzeichnis

1	Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie wissenschaftlicher und technischer Stand	3
2	Ablauf des Vorhabens	3
3	Wesentliche Ergebnisse sowie Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern	4

1 | Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie wissenschaftlicher und technischer Stand

Das Verbundprojekt DIAMOND – Digitale Anlagenmodellierung mit neutralen Datenformaten wurde im Rahmen der Initiative KoPa 35c (Modul a2) durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) gefördert. Ziel des Projekts war die Schaffung einer durchgängigen, interoperablen und standardbasierten Datenbasis für das Engineering des Anlagenentstehungsprozesses im Kontext der Automotive Industrie. Dazu sollten Produkt-, Prozess- und Ressourceninformationen harmonisiert und in einem neutralen Datenmodell zusammengeführt werden, das von Komponentenherstellern, Anlagenbauern, Softwareanbietern und OEMs gleichermaßen genutzt werden kann. Auf dieser Grundlage lässt sich der Lebenszyklus industrieller Anlagen konsistent und vollständig digital abbilden.

Das Teilvorhaben von Festo konzentrierte sich auf die Entwicklung standardkonformer digitaler Komponentenmodelle („Digitale Zwillinge“) und deren Integration in eine durchgängige Engineering-Toolchain. Grundlage bildeten harmonisierte technische Informationen wie Identifikationsdaten, Geometrie- und Anschlussdaten, relevante technische Merkmale sowie simulationsbezogene Inhalte. Hierfür wurden etablierte Industrie-4.0-Standards eingesetzt: insbesondere AutomationML (AML) als neutrales Austauschformat für Detailengineering-Daten sowie die Asset Administration Shell (AAS) als strukturierte, lebenszyklusübergreifende Informationsschicht im RAMI-4.0-Modell.

2 | Ablauf des Vorhabens

Zu Beginn wurden relevante Engineering-Prozesse analysiert und zentrale Anwendungsszenarien definiert. Darauf aufbauend erfolgte die inhaltliche Spezifikation der Submodelle eines digitalen Komponentenmodells, darunter *Digital Nameplate*, *Technical Data* und *Simulation*. Ein wesentlicher Schwerpunkt lag auf der Interoperabilität zwischen AAS und AML, um Informationen konsistent zwischen beiden Formaten austauschen zu können.

Parallel wurde die Integration FMU-basierter Verhaltensmodelle in das Submodell *Simulation* umgesetzt, um simulationsgestützte Anwendungen wie die Virtuelle Inbetriebnahme (VIBN) zu ermöglichen. Die hierfür notwendigen methodischen Grundlagen wurden gemeinsam mit den Verbundpartnern in einem praxisorientierten Leitfaden zur Anwendung des FMI-Standards im VIBN-Kontext beschrieben.

Ergänzend wurden Konzepte zur dynamischen Bereitstellung digitaler Komponenteninformationen über AAS-basierte Serverarchitekturen erprobt. Für bestehende Anlagen („Brownfield“) wurden zudem Grundzüge möglicher Migrationsansätze untersucht und prototypische Datentransformationen validiert. Die Arbeiten wurden kontinuierlich im Konsortium abgestimmt und durch öffentlichkeitswirksame Disseminationsmaßnahmen begleitet.

Zur domänenübergreifenden Harmonisierung entstand zudem ein Common Data Model (CDM), das unterschiedliche fachliche Modelle über eine gemeinsame Ontologie verbindet. Auf dieser Basis konnten bestehende digitale Produktinformationen zu interoperablen und standardkonformen Komponentenmodellen weiterentwickelt werden.

3 | Wesentliche Ergebnisse sowie Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern

Das Projekt führte zu einem standardkonformen digitalen Komponentenmodell, das umfassende Submodelle zur Abbildung industrieller Komponenten bereitstellt und für Engineering-, Simulations- und Analyseprozesse genutzt werden kann. Die Interoperabilität zwischen AAS und AML wurde erfolgreich demonstriert und für industrielle Workflows nutzbar gemacht. Zudem konnte die Integration FMU-basierter Verhaltensmodelle als Bestandteil digitaler Komponentenmodelle umgesetzt werden - ein wesentlicher Fortschritt für simulationsgestützte Methoden wie die Virtuelle Inbetriebnahme.

Ein herausragendes Ergebnis ist die Standardisierung des Submodells „InterfaceConnectors“ in der Industrial Digital Twin Association (IDTA), das eine einheitliche Beschreibung technischer Schnittstellen ermöglicht und wichtige Grundlagen für automatisiertes Engineering schafft.

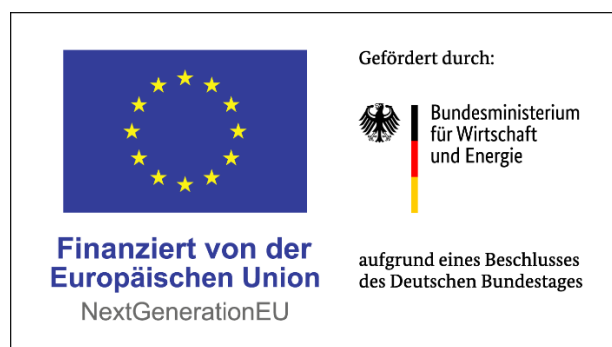
Von besonderer Bedeutung sind zudem die im Verbund erarbeiteten Leitfäden, darunter insbesondere der FMI-/VIBN-Leitfaden, der die Erstellung und Nutzung standardisierter Verhaltensmodelle beschreibt und die Grundlage für interoperable simulationsgestützte Prozesse im Maschinen- und Anlagenbau bildet.

Die Zusammenarbeit im DIAMOND-Verbund - bestehend aus Komponentenherstellern, Anlagenbauern, Software- und Toolherstellern, OEMs und Forschungseinrichtungen – war durch enge Abstimmung, fachliche Expertise und gemeinsame Zielbilder geprägt. Die Ergebnisse sind für zukünftige Forschungs-, Standardisierungs- und Digitalisierungsinitiativen anschlussfähig und leisten einen wichtigen Beitrag zur weiteren Verbreitung und Anwendung interoperabler digitaler Zwillinge.

Abschlussbericht Teil II

Eingehende Darstellung

Projekttitel:	Digitale Anlagenmodellierung mit neutralen Datenformaten
Kurzbezeichnung:	DIAMOND , Digitalisierung der Fahrzeughersteller und Zulieferindustrie KoPa 35c Modul a2
Förderkennzeichen:	13IK011G
Laufzeit:	01.11.22 – 31.10.25
Zuwendungsempfänger:	Festo SE & Co. KG
Ansprechpartner:	Manuel Paul
Datum:	19.01.2026
Version:	1.0
Verbreitungsgrad:	öffentlich



Inhaltsverzeichnis

1	Gegenüberstellung zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung	4
2	Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse im Einzelnen	4
2.1	AML-AAS Integration	4
2.2	Integrationsfähigkeit an das Common Data Model	5
2.3	DIAMOND AAS Komponente	6
2.4	IDTA Submodell InterfaceConnectors.....	8
2.5	Leitfaden zur Anwendung des FMI Standards im Kontext der virtuellen Inbetriebnahme	9
3	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	10
4	Verwendung der Zuwendung, Notwendigkeit und Angemessenheit	10
5	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit.....	11
6	Bekannter Fortschritt bei anderen Stellen und Berücksichtigung im Vorhaben.....	11
7	Veröffentlichungen und Dissemination	12
8	Zusammenfassende Bewertung der Zielerreichung	13

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: DIAMOND Konzept	4
Abbildung 2: DIAMOND Datentechnische Umsetzung	5
Abbildung 3: Beispielhafte GlobalAssetID	6
Abbildung 4: DIAMOND AAS Komponentenmodell	7
Abbildung 5: Beispiel AAS mit SM_InterfaceConnectors und AML Mapping	8
Abbildung 6: Rollen in der VIBN	10

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Detaillierte Auflistung der IDTA Submodelle	7
---	---

1 | Gegenüberstellung zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung

Das Teilvorhaben von Festo verfolgte die Entwicklung standardisierter Komponentenmodelle als Digitale Zwillinge, die über die Verwaltungsschale (AAS) bereitgestellt und in neutralen Engineeringprozessen mittels AutomationML (AML) genutzt werden sollen.

Zentrale Arbeitspakete umfassten die Auswahl und Spezifikation relevanter Submodelle, die Integration von FMU-basierten Verhaltensmodellen (FMI) in das Submodell „Simulation“, die Konzeption einer API-basierten AAS-Serverarchitektur sowie die Entwicklung belastbarer Migrationspfade für Brownfield-Daten. Diese Zielsetzung wurde im Projektzeitraum beibehalten; inhaltliche Schwerpunkte wurden entlang der Konsortialabstimmung präzisiert. Insbesondere wurde die FMU-Integration methodisch vertieft und die Verprobung von Digitalen Zwillingen in einer industriellen Toolchain vorgenommen. Ergänzend entstand das Konzept eines Common Data Models (CDM) als übergreifende Datenbasis für Engineeringdaten des Anlagenentstehungsprozess.

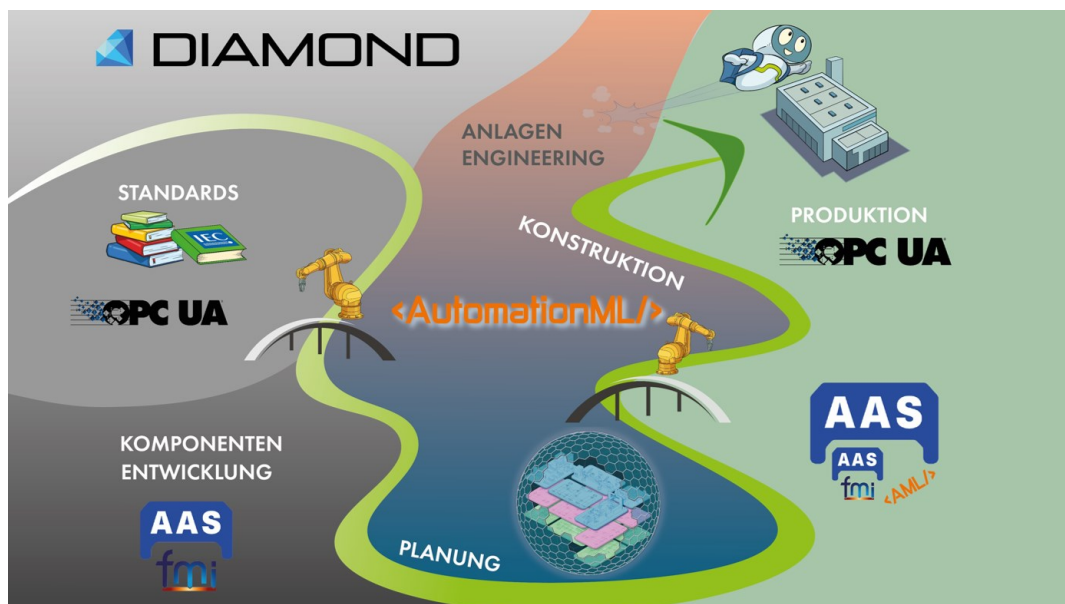


Abbildung 1: DIAMOND Konzept

2 | Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse im Einzelnen

2.1 AML-AAS Integration

Die Verzahnung von Asset Administration Shell (AAS) und AutomationML (AML) ist ein zentraler Baustein für den durchgängigen Digital Thread im DIAMOND-Projekt. Ziel ist, Datenbrüche zu vermeiden und konsistente Asset-Informationen über alle Lebenszyklusphasen bereitzustellen. Während AML als XML-basiertes Austauschformat für Engineering-Daten dient, stellt die AAS ein technologie-neutrales Informationsmodell für die lebenszyklusweite Bereitstellung von Asset-Daten bereit. Im Zusammenspiel entsteht eine interoperable, standardkonforme Datenbasis für Planung, Engineering und Betrieb.

Ein wesentliches Element ist die GlobalAssetID als durchgängige Referenz. Sie ermöglicht die dynamische Bereitstellung von Informationen etwa Wartungsdaten, Simulationsmodellen (FMU) oder Ersatzteilservices über die AAS-Serverinfrastruktur, ohne redundante Datenhaltung.

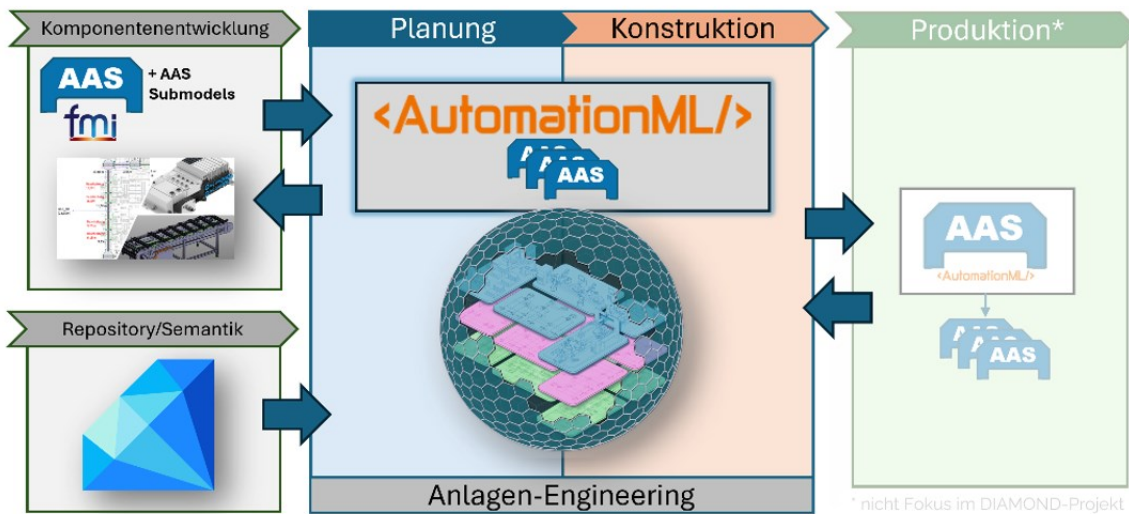


Abbildung 2: DIAMOND Datentechnische Umsetzung

Interoperabilität an den Prozessübergängen:

- Planung → Engineering (AAS → AML): Abstrakte Planungsobjekte werden mit konkreten Komponenten im AML-Modell verknüpft. Über GlobalAssetID und AASInternalConnector lassen sich Detailinformationen aus der AAS dynamisch integrieren.
- Engineering → Betrieb (AML → AAS): Nach Abschluss des Engineerings wird das AML-Projekt als Datei in einer Anlagen-AAS referenziert. Zusätzlich können ausgewählte Attribute und Strukturen explizit als AAS-Elemente veröffentlicht werden.

On-Demand-Bereitstellung von Submodellen:

Für Anwendungsfälle wie Wartung, Analyse oder Simulation werden gezielt nur die relevanten Submodelle über die AAS-Serverinfrastruktur abgerufen. Das reduziert Datenvolumen, steigert die Effizienz und ermöglicht eine flexible Nutzung entlang des Digital Thread.

Validierung im Abschlussdemonstrator:

Gemeinsam Projektpartnern wurde im DIAMOND-Abschlussdemonstrator die bedarfsorientierte Bereitstellung beispielhaft an einer Test-FMU im Submodell *SM_Simulation* über eine AAS-Server-Infrastruktur erfolgreich verprobt.

2.2 Integrationsfähigkeit an das Common Data Model

Das Common Data Model (CDM) des OEM bildet die zentrale, domänenübergreifende Datenbasis für den Anlagenentstehungsprozess. Es verknüpft Informationen aus Planung, Engineering und Betrieb, stellt eine einheitliche semantische Struktur bereit und ermöglicht die konsistente Abbildung von Komponenten, Prozessen und Systemen über den gesamten Lebenszyklus. Damit werden Redundanzen vermieden und eine interoperable Datenhaltung für Planung, Engineering und Betrieb sichergestellt. Die im Projekt definierte

DIAMOND Komponenten Verwaltungsschale ist voll kompatibel mit dem CDM: Das Mapping zwischen AAS und AML ist klar definiert und erfolgreich verprobt. Über die GlobalAssetID und standardisierte Schnittstellen lassen sich Komponenteninformationen aus der AAS nahtlos in die AML-Struktur des OEM übertragen. Dadurch wird eine automatisierte Verknüpfung von Geometrie-, Anschluss- und Verhaltensdaten mit den Engineering-Werkzeugen des OEM ermöglicht.

Im Kontext des Digital Twin sorgt die Integration von AAS und AML für eine konsistente, aktuelle Sicht auf Assets und Anlagen über alle Phasen hinweg. Sie erlaubt die Zusammenführung relevanter Daten aus Planung, Engineering und Betrieb und unterstützt Analyse-, Simulations- und Optimierungsprozesse auf Basis etablierter Standards.

2.3 DIAMOND AAS Komponente

Die DIAMOND-Komponente definiert praxisorientiert alle relevanten Submodelle für den digitalen Anlagenentstehungsprozess. Sie bildet die zentrale Einheit zur Bereitstellung von Komponenteninformationen und dient als Referenzmodell für die Integration in die AAS sowie die Verknüpfung AML. Ziel ist eine durchgängige Datenbasis, die in Planung, Virtueller Inbetriebnahme (VIBN) und Betrieb gleichermaßen genutzt werden kann.

Sie umfasst inhaltlich Identifikations- und Stammdaten, strukturierte Dokumentation, Geometrieinformationen (MCAD/ECAD), Anschlussdaten, spezifische Kennwerte sowie das Submodell „Simulation“ zur Integration FMU-basierter Verhaltensmodelle. Über die GlobalAssetID steht eine stabile, lebenszyklusweite Referenz zur Verfügung; sie ermöglicht die dynamische Bereitstellung von Informationen und die Anbindung an verschiedene Engineering-Tools.

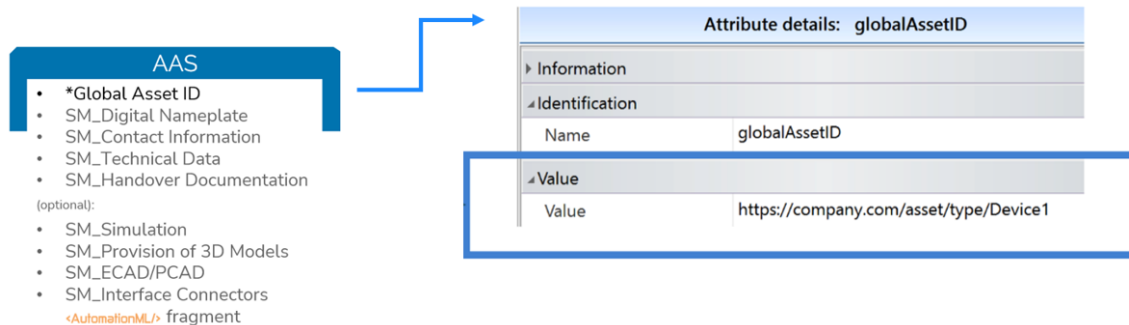


Abbildung 3: Beispielhafte GlobalAssetID

Ein wesentlicher Vorteil der DIAMOND-Komponente liegt in ihrer Standardkonformität: Die Submodelle sind gemäß den IDTA-Vorgaben integriert und erlauben die Referenzierung in AML-Strukturen (AML-AAS-Integration). Damit entsteht die Grundlage für automatisierte Engineering-Prozesse und die Interoperabilität zwischen unterschiedlichen Systemen. Die Komponente unterstützt die End-to-End-Datendurchgängigkeit und ist in Greenfield- wie Brownfield-Szenarien nutzbar. Im Verbund mit OEMs, Toolherstellern und Forschungspartnern wurden Brownfield-Szenarien systematisch betrachtet: Datenbestände analysiert, Transformationsregeln definiert und End-to-End-Datenpfade verifiziert. Die Verprobung in realitätsnahen Szenarien bestätigte sowohl die Interoperabilität von AAS und AML als auch die Nutzbarkeit von FMUs in der VIBN. Fazit für Komponentenhersteller: Bestehende Komponenten werden durch

Verwaltungsschalen mit GlobalAssetID Brownfield-kompatibel; die zentrale Aufgabe ist die Erzeugung und Bereitstellung dieser Verwaltungsschalen.

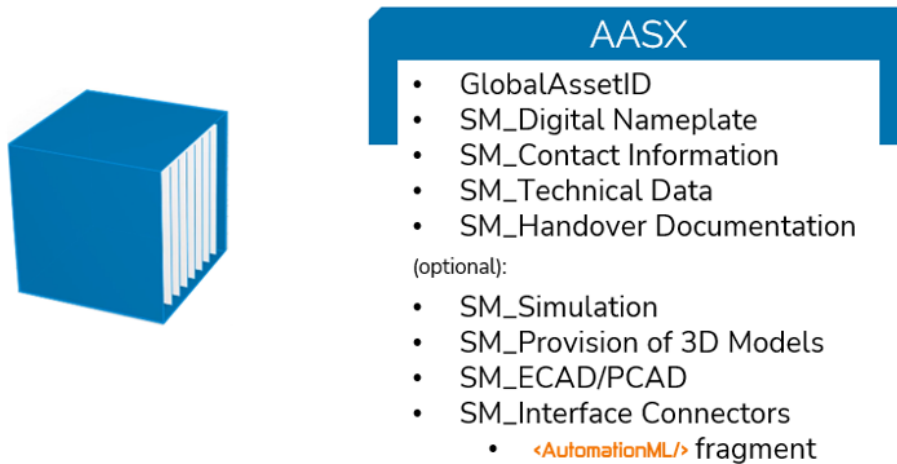


Abbildung 4: DIAMOND AAS Komponentenmodell

Tabelle 1 Detaillierte Auflistung der IDTA Submodelle

Submodell	Link
SM_Digital Nameplate (IDTA 02006)	https://industrialdigitaltwin.org/wp-content/uploads/2022/10/IDTA-02006-2-0_Submodell_Digital-Nameplate.pdf
SM_Contact Information (IDTA 02002)	https://industrialdigitaltwin.org/wp-content/uploads/2022/10/IDTA-02002-1-0_Submodell_ContactInformation.pdf
SM_Technical Data (IDTA 02003)	https://industrialdigitaltwin.org/wp-content/uploads/2022/10/IDTA-02003-1-2_Submodell_TechnicalData.pdf
SM_Handover Documentation (IDTA 02004)	https://industrialdigitaltwin.org/wp-content/uploads/2023/03/IDTA-02004-1-2_Submodell_Handover-Dokumentation.pdf
SM_Simulation (IDTA 02005)	https://industrialdigitaltwin.org/wp-content/uploads/2023/01/IDTA-02005-1-0_Submodell_ProvisionOfSimulationModels.pdf
SM_Provision of 3D Models (IDTA 02026)	https://industrialdigitaltwin.org/wp-content/uploads/2024/06/IDTA_02026-1-0_Submodell_ProvisionOf3DModels.pdf
SM_ECAD (IDTA 02074)	In Development: https://industrialdigitaltwin.org/content-hub/teilmodelle

Im Projektverlauf wurden die notwendigen Engineering-Inhalte konsolidiert und technisch modelliert: GlobalAssetID, Identifikations- und Stammdaten, strukturierte Dokumentation, MCAD-/ECAD-Geometrie- und Anschlussinformationen, fluidische Kennwerte sowie das Submodell „Simulation“.

2.4 IDTA Submodell InterfaceConnectors

Die Initiierung und aktive Mitarbeit an der Standardisierung des Submodells „InterfaceConnectors“ war notwendig, um Anschlussinformationen domänenübergreifend einheitlich zu beschreiben und damit die Grundlage für automatisiertes Engineering zu schaffen. Gemeinsam mit den Projektpartnern wurde die Standardisierung zielgerichtet vorangetrieben. Mit dem SM_InterfaceConnectors lassen sich alle physischen Verbindungen einer Komponente oder eines Systems formal und domänenübergreifend als Teil des Digital Twin beschreiben. Im Engineering können diese Detailinformationen genutzt werden, um Schaltpläne sowie domänenübergreifende Zusammenhänge präzise abzubilden.

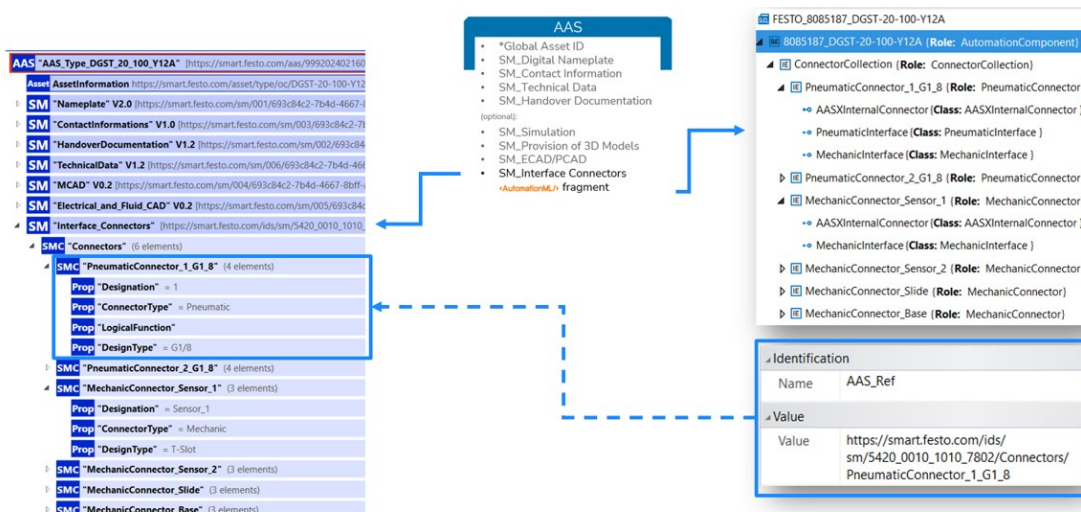


Abbildung 5: Beispiel AAS mit SM_InterfaceConnectors und AML Mapping

Komponenteninformationen werden formal in der AAS abgebildet und über AML referenziert; dadurch ist eine eindeutige Verortung im RAMI-4.0-Kontext gegeben.

2.5 Leitfaden zur Anwendung des FMI Standards im Kontext der virtuellen Inbetriebnahme

Der im Rahmen des DIAMOND-Projekts erarbeitete FMU-Leitfaden beschreibt die Anwendung des FMI-Standards (Functional Mock-up Interface) zur Erstellung und Integration von standardisierten Verhaltensmodellen für die Virtuelle Inbetriebnahme (VIBN). Ziel ist es, die Modellierungspraxis zu vereinheitlichen, die Wiederverwendbarkeit zu erhöhen und die Qualität digitaler Zwillinge zu verbessern. Der Leitfaden adressiert alle relevanten Rollen im Engineering-Prozess: Komponentenhersteller, Anlagenbauer, Anlagenbetreiber (OEM) und Tool-Hersteller. Die Motivation für den Leitfaden liegt in der aktuellen Situation, in der Verhaltensmodelle oft proprietär erstellt werden. Dies führt zu hohem Aufwand, redundanten Bibliotheken und eingeschränkter Interoperabilität. Der FMI-Standard bietet eine toolunabhängige Schnittstelle, die den Austausch von Modellen erleichtert und den Know-how-Schutz durch gekapselte Binärdateien sicherstellt.

Der Leitfaden gibt praxisnahe Empfehlungen zu folgenden Kernpunkten:

- **FMI-Version:** Ab Version 2.0 ist der Standard für VIBN geeignet; Version 3.0 wird empfohlen, da sie komplexe Datentypen und Arrays unterstützt.
- **Betriebsmodus:** Für die VIBN ist die Co-Simulation bevorzugt, da sie ein robustes und reproduzierbares Verhalten ermöglicht.
- **Level of Detail (LoD):** Drei Stufen werden definiert – von minimaler Logik (S) über vollständige Logik mit zeitlichem Verhalten (M) bis hin zu physikalisch detaillierten Modellen (L).
- **Dokumentation und Logging:** Eine umfassende Dokumentation sowie standardisiertes Logging sind essenziell, da FMUs als Blackbox ausgeliefert werden.
- **Cybersecurity:** Signierung und sichere Austauschmechanismen sind notwendig, um Risiken bei der Ausführung gekapselter Modelle zu minimieren.

Die Arbeit an diesem Leitfaden war sehr umfangreich und einzigartig, da sie auf der intensiven Zusammenarbeit führender Unternehmen aus unterschiedlichen Rollen basiert. DIAMOND Partner brachten ihre fachliche Expertise ein und sorgten für eine breite Perspektive auf die Anforderungen der Industrie.

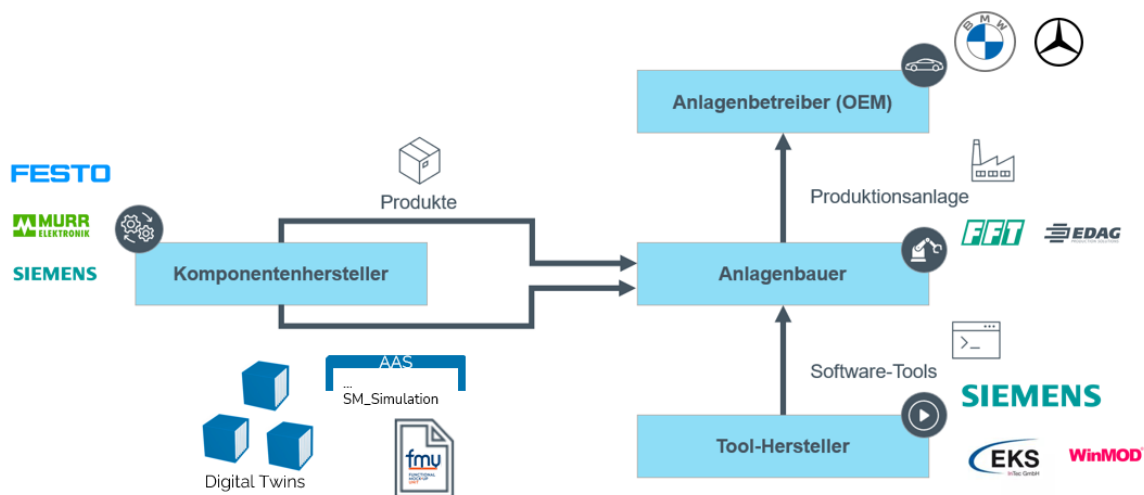


Abbildung 6: Rollen in der VIBN

Dieses Zusammenspiel macht den Leitfaden zu einem Referenzdokument für die Standardisierung im Bereich der virtuellen Inbetriebnahme. Darüber hinaus hat Festo im DIAMOND-Abschlussdemonstrator eine FMU bereitgestellt, die bereits alle im Leitfaden beschriebenen Anforderungen erfüllt.

Ein weiterer wichtiger Aspekt: Der Leitfaden ist öffentlich, kostenfrei zugänglich und erweiterbar. Die Erweiterbarkeit wird durch die Anwendung der Attribution-ShareAlike-Lizenz (CC BY-SA 4.0) sichergestellt. Damit bietet er der Industrie eine offene Grundlage, um die Einführung des FMI-Standards zu beschleunigen und die Interoperabilität in komplexen Engineering-Prozessen zu fördern. Langfristig sollen FMUs analog zu CAD-Daten ein fester Bestandteil des Digital Twins einer Komponente werden. Die konsequente Anwendung des FMI-Standards wird als Schlüssel für die durchgängige Digitalisierung im Maschinen- und Anlagenbau gesehen.

3 | Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Zuwendung wurde im Wesentlichen für die fachliche Bearbeitung der projektbezogenen Aufgaben eingesetzt. Dazu gehörten insbesondere Arbeiten zur Spezifikation, Ausarbeitung und Validierung der digitalen Komponentenmodelle sowie Beiträge zur Weiterentwicklung und Abstimmung der im Projekt entstandenen Leitfäden, einschließlich des FMI-Leitfadens für simulationsgestützte Anwendungen.

Darüber hinaus wurden Mittel für projektbezogene Abstimmungen im Verbund, Workshops und Maßnahmen der Ergebniskommunikation genutzt. Ergänzend kamen erforderliche Sachmittel wie Software- und Arbeitsumgebungen sowie reisekostenbezogene Aufwendungen im Rahmen der üblichen Disseminations- und Fachveranstaltungen zum Einsatz.

Die detaillierte Mittelverwendung ist dem zahlenmäßigen Nachweis zu entnehmen.

4 | Verwendung der Zuwendung, Notwendigkeit und Angemessenheit

Die eingesetzten Mittel waren erforderlich, um die Projektziele zu erreichen: Die IDTA-konforme DIAMOND-Komponente, die AAS-AML-Integration und der FMI-Leitfaden mussten konzipiert, implementiert,

verprobt und standardisiert werden. Die Aufwände stehen in angemessenem Verhältnis zu Umfang und Ergebnis, da sie unmittelbar zur Interoperabilität, Wiederverwendbarkeit und Praxistauglichkeit der Digitalen Zwillinge beitragen und die Verwertung in Engineering- und Betriebsprozessen ermöglichen.

5 | Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit

Die im Vorhaben erzielten Ergebnisse sind unmittelbar verwertbar und unterstützen eine durchgängige Nutzung digitaler Komponenteninformationen im Engineering. Mit der standardkonformen DIAMOND-Komponente, der abgestimmten Nutzung von AAS und AutomationML sowie den im Projekt erarbeiteten Leitfäden – insbesondere dem FMI-Leitfaden für simulationsgestützte Anwendungen – steht ein konsistentes, interoperables Datenfundament bereit, das sowohl in neuen Anlagen („Greenfield“) als auch in bestehenden Umgebungen („Brownfield“) nutzbar ist.

Die entwickelten Submodelle können bedarfsgerecht über AAS-basierte Bereitstellungsmechanismen genutzt und in bestehende digitale Werkzeuge sowie in übergeordnete Datenmodelle integriert werden. Standardisierte Verwaltungsschalen verschiedener Komponentenhersteller bilden dabei eine wichtige Grundlage für die praktische Anwendung des DIAMOND-Konzepts.

Perspektivisch können zusätzliche, fachlich vertiefende Submodelle - beispielsweise simulationsrelevante Modelle - ergänzt und für spezifische Anwendungen bereitgestellt werden. Die kontinuierliche Weiterführung der Standardisierungsaktivitäten, etwa innerhalb der IDTA, bleibt hierfür zentral, um Digitale Zwillinge dauerhaft vollständig, konsistent und interoperabel in digitalen und virtuellen Prozessen abbilden zu können.

6 | Bekannter Fortschritt bei anderen Stellen und Berücksichtigung im Vorhaben

Im Projektverlauf wurden Entwicklungen in relevanten Standardisierungsgremien – darunter IDTA, AutomationML e. V., Initiativen aus dem Umfeld von Manufacturing-X sowie fachliche Austauschrunden mit ProSTEP ivip e. V. – eng verfolgt und in die Arbeiten einbezogen. Ergänzend floss auch der Austausch mit Organisationen wie FMI und ECLASS in die fachliche Ausgestaltung der Projektergebnisse ein.

Die im Verbund erzielten Resultate wurden fortlaufend in Fachvorträgen, auf Messen und in Informationsformaten präsentiert und damit einem breiten Fachpublikum zugänglich gemacht. Dieser offene Austausch unterstützte die Entstehung von Synergien und ermöglichte es, dass Erkenntnisse aus DIAMOND in angrenzende Aktivitäten einfließen konnten.

Darüber hinaus zeigen die im Projekt entwickelten Konzepte zur semantischen Beschreibung von Engineering-Prozessen Potenziale für zukünftige KI-gestützte Anwendungen. Durch die strukturierte Verknüpfung von Engineering- und Betriebswissen eröffnen sich neue Möglichkeiten für automatisierte Analysen, Optimierungen und unterstützende Entscheidungswerkzeuge.

7 | Veröffentlichungen und Dissemination

Die Projektergebnisse wurden aktiv von Festo unterstützt und erarbeitet. In folgenden Fachartikeln, Leitfäden und Konferenzbeiträgen wurden diese entsprechend veröffentlicht:

- Datendurchgängigkeit im Anlagenentstehungsprozess DIAMOND – Modell und Realisierung| atp magazin
veröffentlicht am 29.04.2025 (https://ojs.di-verlag.de/index.php/atp_edition/article/view/2775)
- Synergien durch Standards im Anlagenentstehungsprozess: DIAMOND - AML und AAS im Engineering | atp magazin
veröffentlicht am 21.08.2025 (https://ojs.di-verlag.de/index.php/atp_edition/article/view/2787)
- Leitfaden zur Anwendung des Common Data Model
(https://diamond-project.de/downloads/files/Leitfaden_DIAMOND_Common_Data_Model.pdf)
- Leitfaden zur Anwendung des FMI-Standards im Kontext der virtuellen Inbetriebnahme (CC BY-SA 4.0)
Veröffentlicht am 25.09.2025 (https://diamond-project.de/downloads/files/DIAMOND_Leitfaden_zur_Anwendung_des_FMI_Standards_im_Kontext_der_virtuellen_Inbetriebnahme.pdf)
- IDTA Submodel Template „InterfaceConnectors“ IDTA Number 02062
(<https://industrialdigitaltwin.org/en/content-hub/submodels>)
- Diskussionspapier-Zielbild-und-Handlungsempfehlungen-fuer-industrielle-Interoperabilitaet
(<https://www.automationml.org/wp-content/uploads/2023/04/Diskussionspapier-Zielbild-und-Handlungsempfehlungen-fuer-industrielle-Interoperabilitaet-5.3.pdf>)
- Konferenzbeiträge: Arena 2036, Automation 2025, Kongress Digitale Fabrik 2025
- Projektkommunikation:
 - LinkedIn-Kanal (<https://www.linkedin.com/showcase/diamond-digital-twins/>)
 - Blog (<https://diamond-project.de/#blog>)
 - YouTube-Videos (<https://www.youtube.com/@diamondprojekt>)

Veröffentlichung und Erstellung nach Projektende basierend auf dem Leitfaden zur Anwendung des FMI-Standards im Kontext der virtuellen Inbetriebnahme unter Anwendung der Attribution-ShareAlike 4.0 Lizenz (CC BY-SA 4.0).

- Festo FMU Best Practice Guide - veröffentlicht am 19.11.2025:
DE:
https://www.festo.com/media/cms/central/media/editorial/downloads/pdf/Festo_FMU_Best_Practice_Guide_DE.pdf
EN:
https://www.festo.com/media/cms/central/media/editorial/downloads/pdf/Festo_FMU_Best_Practice_Guide_EN.pdf

8 | Zusammenfassende Bewertung der Zielerreichung

Das Teilvorhaben hat die definierten Kernziele vollständig erreicht: die Entwicklung eines interoperablen Komponentenmodells sowie die Integration von Verhaltensmodellen in die digitale Engineering-Toolchain. Die Verwaltungsschale kann sowohl klassisch als Datei, serverbasiert als auch bedarfsorientiert bereitgestellt werden, sodass Engineering-Informationen flexibel für unterschiedliche Anwendungsfälle verfügbar sind. Diese Bereitstellungsszenarien wurden im Projekt DIAMOND erfolgreich verprobt und sind über die Engineering-Phase hinaus auch in der Betriebsphase und einer Realisierung der entsprechenden Infrastruktur anwendbar. Darüber hinaus wurde mit den erstellten Leitfäden und den Standardisierungsaktivitäten ein nachhaltiges Fundament geschaffen, das eine klare, praxisnahe Anwendung ermöglicht. Die Bereitstellung über die AAS und die formale Abbildung in AML im Engineering erlaubt die konsistente Erstellung eines Common Data Model. Validierte Migrationspfade adressieren sowohl Greenfield- als auch Brownfield-Szenarien und ermöglichen End-to-End-Transformationen. Die erzielten Ergebnisse sind belastbar und anschlussfähig für nachgelagerte Anwendungen.