

PriMeD4BaSys

Private Mehrparteien-Datenanalyse mit BaSys

Abschlussbericht

Datum	20.11.2023
Berichtszeitraum	01.02.2021 – 31.05.2023
Verbreitungsgrad	Öffentlich
Projekt	PriMeD4BaSys
Förderkennzeichen	01IS21014
Laufzeit	01.02.2021 – 31.05.2023

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Autoren

Farshad Firouzi, Advaneo GmbH

Tagline Treichel, Fraunhofer IESE

Tagline
Treichel

Digitally signed by
Tagline Treichel
Date: 2023.11.23
14:19:55 +01'00'

Inhaltsverzeichnis

AUTOREN	2
INHALTSVERZEICHNIS.....	3
1 EINLEITUNG.....	4
1.1 Aufgabenstellung.....	4
1.1.1 Wissenschaftliche und technische Ziele.....	4
1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	5
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	6
2 EINGEHENDE DARSTELLUNG.....	6
2.1 Arbeitspakete und technische Ergebnisse	7
2.1.1 AP1: Anforderungsanalyse.....	7
2.1.2 AP2: Konzeption und Architekturentwurf.....	9
2.1.3 AP3: Umsetzung	12
2.1.4 AP4: Evaluation des Gesamtsystems.....	17
2.1.5 AP5: Projektmanagement und Dissemination	21
2.2 Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	21
2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	21
2.4 Verwertbarkeit des Ergebnisses.....	22
2.4.1 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Erfolgsaussichten	22
2.4.2 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	23
2.5 Bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen	24
2.6 Veröffentlichung des Ergebnisses	25
3 LITERATURVERZEICHNIS.....	26

1 Einleitung

Dieses Dokument ist der Abschlussbericht des Projekts PriMeD4BaSys. Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 01IS21014 gefördert. Die in diesem Dokument vorgestellten Arbeiten umfassen viele der Aktivitäten, die die Advaneo GmbH und das Fraunhofer IESE im Rahmen des Projekts PriMeD4BaSys gemeinsam durchgeführt haben.

Teil 1 dieses Berichts gibt einen Überblick über die Ziele und Aufgaben des Projekts. Abschnitt 1.1 beschreibt die Aufgaben und Ziele von PriMeD4BaSys im Detail. In Abschnitt 1.2 werden die Voraussetzungen für das Projekt dargelegt, gefolgt von Abschnitt 1.3, in dem die Planung und der Ablauf des Projekts vorgestellt werden.

1.1 Aufgabenstellung

Industrielle Datenräume, unternehmensübergreifender Datenaustausch und kollaborative Datenanalyse sind Voraussetzungen für eine Vielzahl von aufkommenden Anwendungsfällen in der Industrie 4.0 und der intelligenten Fertigung. Diese Anwendungen reichen von kollaborativer Zustandsüberwachung und prädiktiver Wartung bis hin zu Berechnungen des CO₂-Fußabdrucks. Solche Innovationen werden voraussichtlich in naher Zukunft einen bedeutenden Markt darstellen. Ein dringendes Problem, das die breite Akzeptanz behindert, ist jedoch die Notwendigkeit, in Mehrparteien-Umgebungen die Datenprivatsphäre sicherzustellen.

Dieses Projekt ist konkret darauf ausgerichtet, diese Lücke zu schließen und Datenschutzmaßnahmen mit den Vorteilen der Künstlichen Intelligenz in Einklang zu bringen. Es bietet bedeutende Möglichkeiten für unternehmensübergreifende, kollaborative Bestrebungen. Wichtig ist, dass das Projekt alle Phasen der Datenverarbeitung umfassend abdeckt – von der anfänglichen Erfassung über die Betriebstechnologie (OT) und die Informationstechnologie (IT) bis hin zum sicheren Datenaustausch, zum Management und zur Berechnung unter Einbeziehung mehrerer Stakeholder.

Mithilfe von Verwaltungsschalen (VWS) [1] und IDS Connectors können Fabriken nicht nur Daten erfassen, sondern auch sicher teilen. Der Trusted Data Hub (TDH) führt eine zusätzliche Sicherheits- und Datenschuttschicht in das gesamte Ökosystem ein. Durch die nahtlose Integration von Datenaustausch und Datenanalyse eröffnet die Initiative Möglichkeiten für eine verbesserte Monetarisierung von Daten. Sie ermöglicht auch die Entwicklung auf neuen Erkenntnissen basierender Dienstleistungen und Geschäftsmodelle – ein Vorteil, der für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) von besonderer Bedeutung ist.

1.1.1 Wissenschaftliche und technische Ziele

Dieses Projekt hat zwei Hauptbeiträge. Der erste ist eine Proof-of-Concept(PoC)-Implementierung eines Systems, in dem Daten von Maschinen, Sensoren und Produkten mit externen Partnern einer Produktionsstätte geteilt werden können. Hierfür wurde eine Integration zwischen der Middleware Eclipse BaSyx und dem IDS Connector vorgeschlagen und implementiert. Es wurde ein Anwendungsfall durchgeführt, bei dem Daten von Maschinen mit einem Trusted Data Hub (TDH) eines externen Partners geteilt werden. Während der Anwendungsfall selbst nicht völlig neu ist, gibt es bis heute keinen klaren Ansatz, der die Verwaltungsschale (englisch: Asset Administration Shell, AAS) nutzt, um Daten über das

IDS-Protokoll auszutauschen. Ein großer Mehrwert dieses Projekts liegt darin, den Datenaustausch in Ökosystemen wie CATENA-X, Manufacturing-X und auch über Datenräume hinweg zu ermöglichen. Diese Integration ist besonders dann wertvoll, wenn Unternehmen ihre Daten auf sichere Weise für externe Unternehmen und Partner entlang der Lieferkette zugänglich machen wollen.

Der zweite Beitrag ist der Entwurf und die (PoC)-Implementierung eines Simulations-Frameworks, das die Zustandsüberwachung von Maschinen und deren Fähigkeiten analysiert. Dazu wird ein Ansatz vorgeschlagen, der Verwaltungsschalen und Model-based Systems Engineering (MBSE) verwendet. Die technische Umsetzung wurde mit Simulationsmodellen von MATLAB/Simulink sowie Verwaltungsschalen und Teilmodellen von Eclipse BaSyx realisiert. Ein hydraulisches Pressensystem wurde implementiert, um den vorgeschlagenen Ansatz zu validieren. Ein solcher Simulationsrahmen ist von großem Wert, da er Fabriken dabei hilft, die täglichen Abläufe zu verbessern und folglich Ausfallzeiten in der Produktion zu reduzieren.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

BaSys 4.0 und die Referenzarchitektur [2] [3] der International Data Space Association (IDSA)¹ sind zwei verschiedene technologische Konzepte, die im Laufe der Zeit getrennt voneinander entwickelt wurden. BaSys 4 ist ein vom BMBF gefördertes Forschungsprojekt, das mit dem Open-Source-Projekt Eclipse BaSyx [4] eine Middleware für Industrie 4.0 erstellt. Es ermöglicht u.a. über das Konzept der Verwaltungsschale, Fertigungsgeräte auf dem Shopfloor mit der Datenanalyse auf dem Officefloor zu verbinden.

Ergänzend dazu ermöglicht es die IDSA-Architektur [5] zwei oder mehr Parteien (z.B. Hersteller von Maschinen und Kunden von Maschinen), sich auf einen sicheren und geregelten Datenaustausch zu einigen. Gleichzeitig ist sichergestellt, dass jedes der Unternehmen die volle Kontrolle über seine eigenen Daten behält.

Aus diesem Grund wurde im Projekt PriMeD4BaSys die Entwicklung einer Lösung angestrebt, die auf der IDSA-Referenzarchitektur basiert und erfolgreich Datenschutz- und Sicherheitsbedenken beim Datenaustausch zwischen mehreren Parteien ausräumt, was, wie oben geschildert, eine große Herausforderung darstellt – insbesondere für KMU.

¹ <https://internationaldataspaces.org>

2.1 Arbeitspakete und technische Ergebnisse

In Übereinstimmung mit der Projektbeschreibung entsprechen die folgenden Unterabschnitte den einzelnen Arbeitspaketen.

2.1.1 AP1: Anforderungsanalyse

Der Schwerpunkt dieses Arbeitspakets lag auf der Identifizierung von zwei Anwendungsfällen, von denen jeder die folgenden Ziele des Vorhabens erfüllen konnte:

- a. Entwicklung der Integration zwischen dem IDSA-Konnektor und BaSys
- b. Definition eines Simulationsszenarios

Daher wurden die folgenden zwei Anwendungsfälle formalisiert und konzeptionell ausgearbeitet.

Anwendungsfall 1 – Prädiktive Wartung

Dieser Anwendungsfall bezieht sich auf das oben genannte Ziel a. und hat zwei wichtige Aufgaben zu erfüllen: (i) die Interoperabilität zwischen BaSys und dem IDS-Connector von Advaneo herzustellen und zu testen, und (ii) einen maschinellen Lernansatz zu etablieren, der als exemplarischer Dienst im TDH von Advaneo bereitgestellt werden soll. Zu diesem Zweck wurde ein öffentlicher Datensatz aus der Lebensmittelbranche gefunden, der Sensordaten von rund 100 Maschinen enthält. Dieser Datensatz beschreibt auch, wann sich bestimmte Maschinen in einem fehlerhaften Zustand befanden und soll daher von einem maschinellen Lernalgorithmus verwendet werden, der vorhersagt, wann eine Maschine bzw. ein Gerät möglicherweise in einen Wartungszustand eintritt. Abbildung 2 zeigt das umgesetzte Gesamtkonzept.

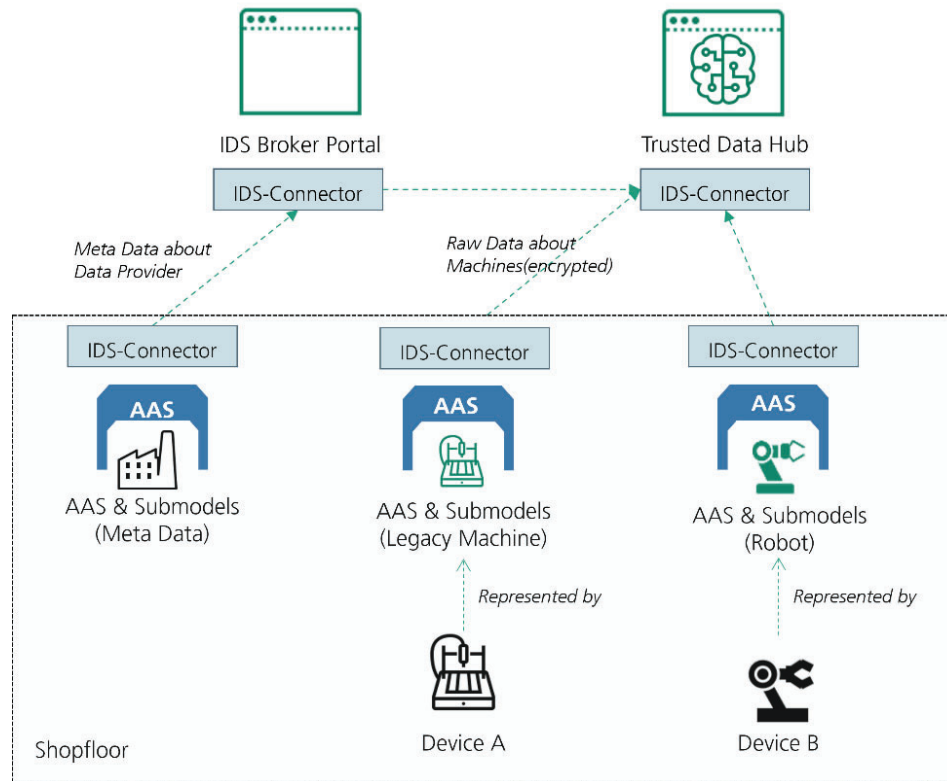


Abbildung 2: Übersicht über das Konzept für Anwendungsfall 1

Anwendungsfall 2 – Zustandsüberwachung

Der Hauptzweck dieses Anwendungsfalls besteht darin, das oben genannte Ziel b. zu erreichen. Zu diesem Zweck soll für die Überwachung des Maschinenzustands ein Simulations-szenario formalisiert werden. Das Problem der Zustandsüberwachung entsteht, wenn es kein System gibt, das den Zustand und die Leistung dieser Produktionsmaschinen in Echtzeit bewertet. Ohne eine angemessene Überwachung besteht das Risiko, dass eine Maschine einen kritischen Ausfall erleidet, was zu unerwarteten Ausfallzeiten und möglicherweise teuren Reparaturen führt [6]. Einen großen Beitrag zur Lösung dieses Problems kann die virtuelle Simulation von Maschinen leisten, die wiederum für den Entwurf, die Simulation und die Optimierung des Systemverhaltens genutzt werden kann. Für diesen Anwendungsfall wurde eine Integration zwischen der Verwaltungsschale (in der Abbildung 3 als AAS dargestellt), die Daten und Eigenschaften einer Maschine liefert, und einem MBSE-Modell, das das Verhalten einer Maschine unter bestimmten Bedingungen emuliert, geplant.

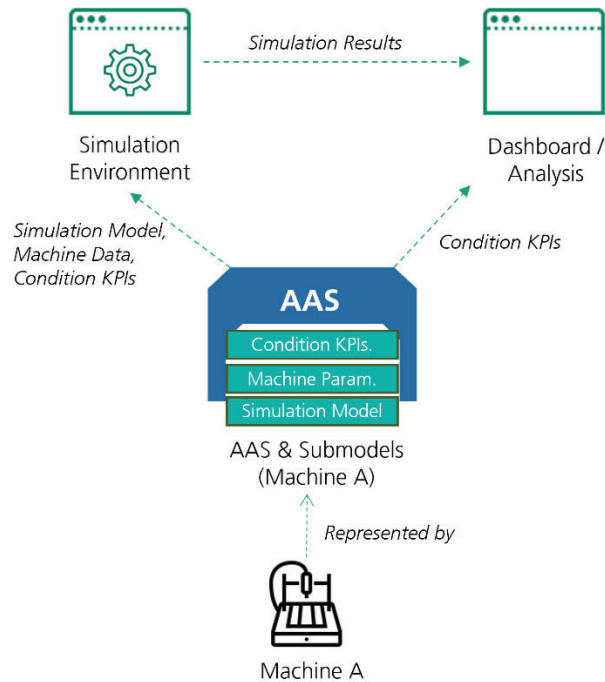


Abbildung 3: Übersicht über das Konzept für Anwendungsfall 2

2.1.2 AP2: Konzeption und Architekturentwurf

Da in diesem Projekt zwei leicht unterschiedliche Ziele und Konzepte verfolgt wurden, ist dieses Kapitel in zwei Teile gegliedert. Teil 1 stellt das Gesamtkonzept für das Datenökosystem und seine Hauptkomponenten vor, welches das Ziel a., Integration zwischen dem IDSA-Konnektor und BaSys, verfolgt. Teil 2 entspricht dem Ziel b. und stellt das Konzept für einen Simulationsrahmen vor.

2.1.2.1 Datenökosystemkonzept

Die Architektur besteht aus vier Hauptkomponenten – siehe Abbildung 4:

- **AAS (Asset Administration Shell; deutsch: Verwaltungsschale)** basierend auf Eclipse BaSys. Diese dient als Basis für das Asset-Management und die Sammlung von Daten bzw. den Verweis auf die Endpunkte der Daten. Sie wird durch eine Struktur von Teilmodellen, Teilmodellsammlungen und Eigenschaften dargestellt. Die Verwaltungsschale stellt im Wesentlichen die Datenstruktur dar, die in diesem Zusammenhang von den Datenlieferanten (z.B. Fertigungs- und Produktionsdaten) für die Sammlung und Aggregation relevanter Daten genutzt wird.
- **IDS Connector:** Als zentrale Komponente für den sicheren und vertrauenswürdigen Datenaustausch leitet der IDS Connector die Daten des Anbieters direkt an den Empfänger in einem zertifizierten, sicheren Datenraum weiter. Dies stellt sicher, dass der ursprüngliche Datenanbieter die Kontrolle über die Daten behält und die Bedingun-

gen für deren Nutzung festlegt. Funktional agiert der IDS Connector als Gateway, das bestehende Systeme und deren Daten mit dem IDS-Ökosystem verbindet. Seine Architektur und Funktionen entsprechen dem IDS Reference Architecture Model (RAM) und erfüllen die spezifizierten Zertifizierungskriterien. Der Connector besteht aus mehreren Systemdiensten, darunter:

- Execution Core Container mit Nachrichtensystemen (z.B. Nachrichten-Router/Bus)
- Configuration Manager zur Konfiguration des Connectors
- Application Container, der die Installation neuer Apps ermöglicht und somit die Funktionalität des Connectors erweitert.

In diesem Projekt wurde der IDS Connector modifiziert, um Daten über MQTT aufzunehmen und somit die Verbindung zwischen der AAS und dem IDS Connector zu erleichtern.

- **IDS Broker:** Auch als IDS Metadata Broker bekannt, bietet diese Komponente einen Indexierungsdienst, der Metadaten, die von den Connectors gesendet werden, veröffentlicht. Die Kommunikation zwischen einem Connector und dem IDS Metadata Broker ist nachrichtenorientiert und fällt in zwei Hauptkategorien: Metadaten-Nachrichten (für das Senden von Metadaten an die Indexierungsdienste) und Abfrage-Nachrichten (zum Abrufen von Metadaten vom Indexierungsdienst).
- **Trusted Data Hub (TDH):** Entwickelt von Advaneo, ist TDH eine patentierte Plattform für den Schutz der Privatsphäre im Bereich des maschinellen Lernens (PPML). Sie ermöglicht eine gemeinsame Datenanalyse zwischen mehreren Parteien, ohne sensible Informationen preiszugeben. Institutionen können Analysen zu privaten Daten durchführen, die von anderen Parteien gehalten werden, ohne die Daten tatsächlich offenzulegen. TDH ist mit dem IDS-System interoperabel, da alle Datenübertragungen über den IDS Connector verwaltet werden.

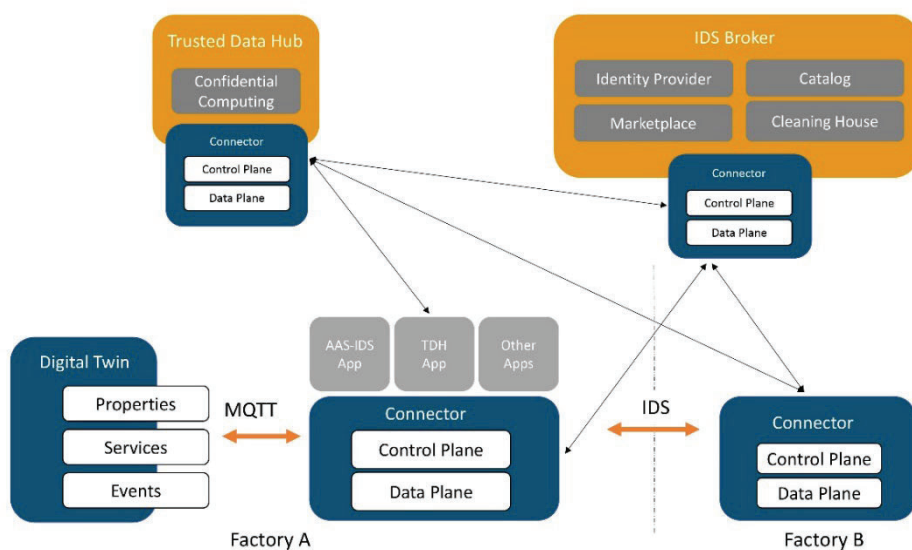


Abbildung 4: Überblick über das Datenökosystemkonzept

Typischer Datenfluss

Das standardmäßige Verfahren für den Datenaustausch kann in den folgenden Schritten zusammengefasst werden:

1. Der Anbieter registriert einen neuen Datensatz beim Metadaten-Broker.
2. Potenzielle Verbraucher fragen den Broker ab, um den Anbieter des Datensatzes zu identifizieren.
3. Beide Parteien verhandeln und unterzeichnen anschließend einen Vertrag.
4. Für nicht vertrauliche Datensätze überträgt der Datenanbieter Rohdaten über Connectors direkt an den Verbraucher. Diese Daten stammen von Maschinen auf der Werksebene, werden über AAS erfasst und dann über den Connector des Anbieters geleitet.
5. Für vertrauliche Datensätze werden die Daten an den Trusted Data Hub (TDH) übertragen. Hier können Verbraucher Analysen durchführen, ohne Zugriff auf die Rohdaten zu haben. Sie erhalten nur die analytischen Ergebnisse, um sicherzustellen, dass die Rohdaten vertraulich bleiben.

Durch die Einhaltung dieses Ablaufs soll die Architektur eine sichere, effiziente und skalierbare Lösung für das Data Sharing und die Analyse bereitstellen.

2.1.2.2 Simulationsframework-Konzept

Die Simulation gilt als entscheidende Technologie für Innovationen und Entwicklungen im Bereich der Industrie 4.0 [7]. Sie ermöglicht die Erprobung und Validierung von Produkten, Prozessen und Systemdesign sowie die Vorhersage der Systemleistung. Die virtuelle Simulation kann einen wichtigen Beitrag zur Bewertung des Zustands und der Leistung von Produktionsmaschinen in Echtzeit leisten. Daher zielt dieses Projekt auf die Integration von Verwaltungsschalen und Model-Based Systems Engineering (MBSE) ab, um Anwendungsfälle wie die Maschinenzustandsüberwachung in Industrieanlagen zu ermöglichen.

MATLAB/Simulink [8] ist eine Anwendung für MBSE-Modelle, die von Ingenieuren in verschiedenen Branchen für den Entwurf und die Implementierung von Simulationsmodellen verwendet wird, z. B. für Modelle, die das Verhalten einer Maschine beschreiben. Das vorgeschlagene Konzept zielt darauf ab, eine architektonische und technologische Bibliothek bereitzustellen, die es ermöglicht, Simulationsmodelle, die in MATLAB/Simulink erstellt wurden, unter Verwendung von Echtzeitdaten, die von Eclipse BaSyx bereitgestellt werden, zu simulieren. Abbildung 5 veranschaulicht die wichtigsten Architekturkomponenten.

Mit der Bibliothek können MATLAB/Simulink-Benutzer eine BaSyx-Schnittstelle zu ihrem Modell hinzufügen und mit bestehenden VWS-Teilmodellen und deren TeilmodellElementen interagieren. Jedes Teilmodell stellt eine Sammlung von Variablen und Werten dar (generisch definiert als Teilmodellelemente). Für die Bibliothek werden zwei Anwendungsfälle und Entwicklungsbeschränkungen definiert:

1. Als Schnittstelle zur asynchronen Verbindung mit BaSyx, wobei die Simulation mit einer Momentaufnahme der Parameterwerte zu Beginn arbeitet, indem die Parameter

einmal zu Beginn der Simulation gelesen und einmal am Ende der Simulation gesetzt werden.

2. Als Schnittstelle zur Verbindung mit BaSyx, wenn das Modell mit einer verlangsamten Simulationsrate arbeitet. Dies ermöglicht ein synchrones Auslesen und Konfigurieren der AAS-Parameter während der Simulation. Die Abtast- oder Aktualisierungsrate kann direkt im Block eingestellt werden.



Abbildung 5: Simulationsframework-Konzept

Im nächsten Abschnitt werden in 2.1.3.2 die Implementierungsaspekte dieser Bibliothek sowie der Austausch von Datenflüssen beschrieben.

2.1.3 AP3: Umsetzung

2.1.3.1 Datenökosystem

Die Entwicklung des Systems bestand aus folgenden Hauptaktivitäten:

- **Entwicklung des Datenkatalogs:** Advaneo stützte sich für den Datenkatalog hauptsächlich auf seinen bereits bestehenden Datenmarktplatz. Aus Umsetzungssicht lag der Schwerpunkt von Advaneo auf nahtloser Integration und Datenzugänglichkeit.
- **Implementierung des Trusted Data Hub (TDH):** Advaneo trieb die Weiterentwicklung des Trusted Data Hub (TDH) intensiv voran. Dabei wurde auf ein bereits zuvor patentiertes Konzept sowie auf ein einfaches Minimum Viable Product (MVP) aufgebaut, das zur Konzeptvalidierung bereit war. In diesem Projekt erweiterte Advaneo die Funktionalitäten des TDH mit Java. Speziell wurden folgende Merkmale entwickelt:
 - Sichere Kommunikation: Ein sicherer Kommunikationskanal für das Hochladen von Daten vom IDS Connector wurde auf Basis einer Microservices-Architektur eingerichtet.
 - Verschlüsselung und Schlüsselverwaltung: Ein sicheres Schlüsselverwaltungssystem wurde implementiert, zusammen mit Mechanismen für die Datenverschlüsselung und -entschlüsselung.
 - Benutzer- und Projektmanagement: Ein umfassendes System für Benutzer- und Projektmanagement wurde entwickelt.
 - Datenanalyse: Die Integration mit Jupyter Notebook und Python wurde durchgeführt, um den Bedarf an Datenanalyse abzudecken.

- Benutzeroberfläche: Ein Dashboard für Benutzer wurde mit Angular JS implementiert.
- **Erweiterung des IDS Connectors:** Advaneo arbeitete an der Erweiterung des IDS Connectors, um eine Kommunikation über MQTT-Kanäle mit Eclipse BaSyx AAS zu ermöglichen und Daten zu erfassen. Um dies zu erreichen, verbesserte Advaneo die bestehende Implementierung des Trusted Connectors in Java und fügte MQTT-Funktionalitäten hinzu. Die aktualisierte Version ermöglicht es Benutzern, neue Datensätze mit Echtzeit-Eigenschaften innerhalb des IDS-Ökosystems zu registrieren. Darüber hinaus entwickelte Advaneo eine App, die containerisiert und auf den IDS Connector aufgesetzt werden kann. Diese neue App fungiert als Gateway, um den IDS Connector mit dem TDH zu verbinden, und ermöglicht den Teilnehmern des IDS-Ökosystems, verschlüsselte Daten für Analysen zum TDH hochzuladen.
- **Entwicklung von Eclipse BaSyx Komponenten:** Für die Umsetzung der in diesem Projekt vorgeschlagenen Anwendungsfälle wurden zwei Komponenten entwickelt – eine *CSV-Reader*-Komponente und die Erweiterung der *DataBridge*-Komponente. Die ursprüngliche DataBridge-Komponente war zunächst als Gateway konzipiert, sodass Daten in bestehenden VWS und Teilmodellen aggregiert werden konnten. Für dieses Projekt wurde eine neue Erweiterung vorgeschlagen, sodass die im AAS Server (Verwaltungsschalen Server) gehosteten VWS nun über das MQTT (oder HTTP) -Protokoll direkt an externe Systeme weitergeleitet werden können.

Trusted Data Hub (TDH) System

Der Trusted Data Hub (TDH) besteht aus vier Hauptkomponenten, die jeweils eine spezialisierte Funktion innerhalb des Systems erfüllen:

1. **Modul für Datenverschlüsselung und sicheren Upload:** Dieses direkt auf dem IDS Connector installierte Modul hat die Aufgabe, die eingehenden Daten zu verschlüsseln. Anschließend lädt es diese Daten über einen verschlüsselten Kommunikationskanal sicher in das TDH hoch.
2. **Modul für Benutzer- und Projektmanagement:** Diese Komponente ist darauf ausgelegt, verschiedene Aspekte wie Benutzerauthentifizierung, Projektanlegung und Zugangskontrollen zu verwalten. Sie zentralisiert alle benutzer- und projektbezogenen Funktionalitäten, um einen reibungslosen Betrieb sicherzustellen.
3. **Modul für Festplattenverschlüsselung und Datenmanagement:** Mit Fokus auf Datensicherheit ist diese Komponente dafür verantwortlich, den Festplattenspeicher zu verschlüsseln und die von den Benutzern hochgeladenen Daten zu verwalten. Sie stellt sicher, dass die gespeicherten Daten sowohl sicher als auch gut organisiert sind.
4. **Modul für die Laufzeitumgebung:** In einer durch spezialisierte Sensoren gesicherten Umgebung betrieben, führt dieses Modul die Algorithmen auf dem Code aus. Es ist mit Funktionen ausgestattet, die unautorisierten Zugriff erkennen können und alle Daten sofort löschen, falls ein Sicherheitsverstoß erkannt wird. Bemerkenswert ist, dass diese Laufzeitumgebung nur auf flüchtigem Speicher arbeitet, das heißt, sie behält keine permanenten Daten. Dies gewährleistet eine zusätzliche Sicherheitsebene, da niemand ohne entsprechende Berechtigung auf die Daten der Benutzer zugreifen kann.

Diese Architektur vereint robuste Sicherheitsmaßnahmen mit funktionaler Effizienz und stellt sicher, dass Benutzerdaten geschützt bleiben, während gleichzeitig eine effektive Datenanalyse und -verwaltung ermöglicht wird.

Eclipse BaSyx-Komponenten für den Datenaustausch

Im Rahmen dieses Projekts wurden zwei neue Komponenten vorgeschlagen und implementiert, deren Schwerpunkt auf dem Datenaustausch liegt. Eine Komponente ist der CSV-Reader, der für unseren speziellen Anwendungsfall angepasst wurde. Die zweite Komponente, die DataBridge, wurde aus der bestehenden Komponente erweitert, ermöglicht nun aber einen neuen, anderen Typ von Datenquellen und Datensinken. Die Details werden im Folgenden erläutert.

1. **CSV-Reader-Komponente:** Die CSV-Reader-Komponente ist verantwortlich für das Lesen und Parsen von Maschinen- oder Sensordaten. In vielen Fällen, insbesondere im Umgang mit Altsystemen, werden Daten in solchen statischen Dateien bereitgestellt, weshalb die Verwendung dieses CSV-Konzepts auch für andere Szenarien nützlich ist.
2. **DataBridge-Komponente:** Diese Komponente ist eine generische Implementierung und soll für jede Art von Datenaustausch zwischen dem BaSyx VWS Server und Dritten verwendet werden. Sie erfordert lediglich eine Konfiguration einer JSON-Datei und kann als Docker-Container² verwendet werden. In der JSON-Konfigurationsdatei kann der Nutzer festlegen, welche VWS, Teilmodelle und Eigenschaften freigegeben werden sollen, wie oft Daten gezogen/gepusht werden sollen und an welchen spezifischen Endpunkt (des entsprechenden MQTT-Servers). Eine Anleitung zur Verwendung ist im Git Repository [9] zu finden. Diese Komponente wurde mithilfe von zwei Strategien implementiert. Der Nutzer kann konfigurieren, dass eine einzelne Eigenschaft eines Teilmodells oder das komplette Teilmodell bzw. die komplette VWS freigegeben wird. Abbildung 6 zeigt die erste Option und den entsprechenden Datenfluss. In diesem Beispiel wird eine bestimmte Eigenschaft eines Teilmodells freigegeben und unter einem MQTT-Topic abonniert.

² <https://hub.docker.com/search?q=eclipsebasyx>

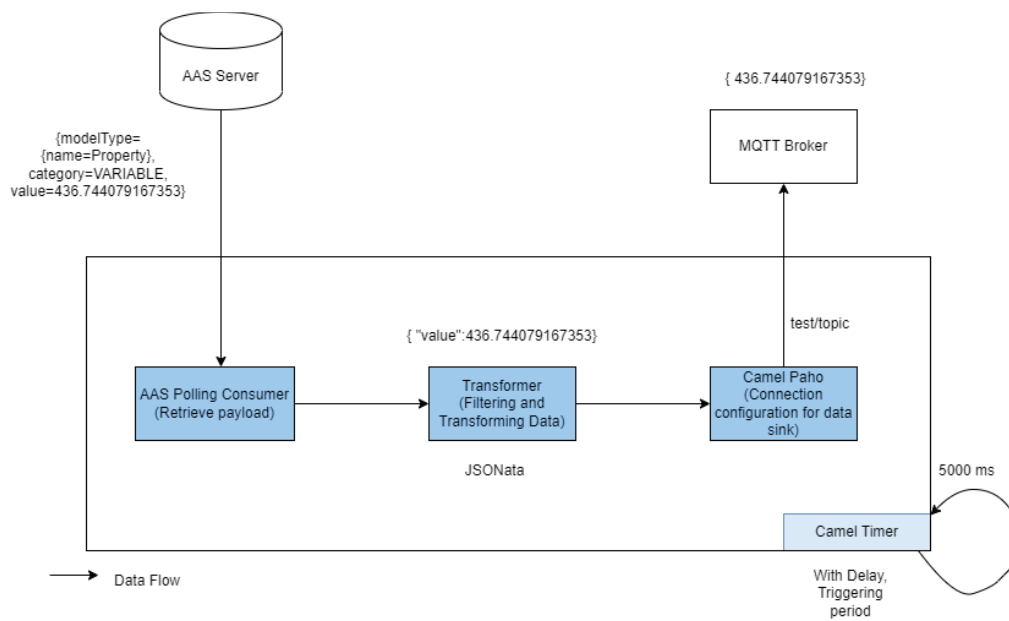


Abbildung 6: Datenfluss innerhalb der DataBridge-Komponente (AAS-to-MQTT)

- 3. Verwaltungsschale und Teilmodelle:** Auf der Grundlage der Datenstruktur wurden die Verwaltungsschale und die Teilmodelle für den Anwendungsfall der prädiktiven Wartung erstellt. Der Datensatz beschreibt, wann sich bestimmte Maschinen in einem fehlerhaften Zustand befanden. Das Teilmodell der für dieses Szenario implementierte Verwaltungsschale enthält Sensordaten, welche *Spannung*, *Drehzahl*, *Druck* und *Vibrationsstufen* von 100 verschiedenen Maschinen beschreiben. Die Datenpunkte wurden in einem Intervall von ~ 1 s erfasst.

Abbildung 7 zeigt das Szenario für den Anwendungsfall der prädiktiven Wartung. Es beinhaltet die Hauptkomponenten, die notwendig sind, um eine auf Verwaltungsschalen basierende Infrastruktur auf Produktionsseite laufen zu lassen – unter der Annahme, dass die Produktion der Datenlieferant ist und ihre Daten mit vorher vereinbarten Dritten teilen möchte.

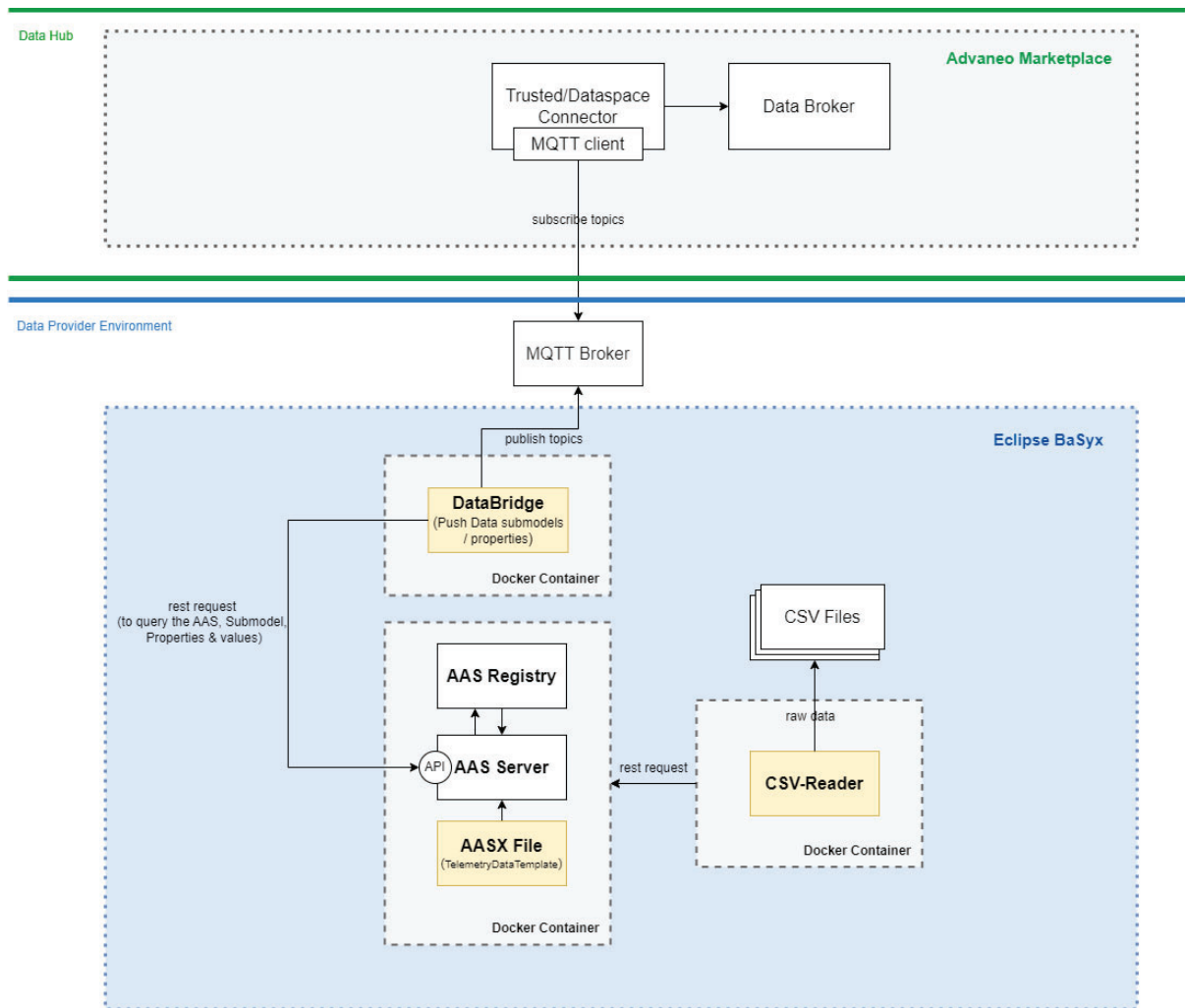


Abbildung 7: Umsetzung der Hauptkomponenten von Eclipse BaSyx

2.1.3.2 Simulationsframework

Das vorgeschlagene Simulationsframework besteht aus einer Bibliothek für MATLAB/Simulink, die eine Verbindung zu einem bestehenden BaSyx VWS Server (AAS Server) herstellt und das Auslesen und Aktualisieren von dessen Elementen ermöglicht. Zu diesem Zweck wird die REST-Schnittstelle des BaSyx C++ SDK und die MATLAB C++ MEX API verwendet. Die Verwaltungsschale bietet die Möglichkeit, ein Asset in einem Industrie-4.0-System virtuell zu repräsentieren. Der BaSyx AAS Server stellt die API-Schnittstelle für die Interaktion mit den Verwaltungsschalen zur Verfügung.

Die Implementierung besteht aus den in Abbildung 8 dargestellten Hauptkomponenten:

- **BaSyx-Simulink Connector:** verbindet das BaSyx C++ SDK mit der MATLAB C++ MEX API und erzeugt eine MEX-Datei, d.h. eine ausführbare Datei, die eine Schnittstelle zwischen MATLAB und in Programmiersprachen wie C++ geschriebenen Funktionen bietet. Dies ist das Hauptergebnis dieser Lösung.

- **Custom Block:** ein benutzerdefinierter MATLAB/Simulink-Block, der die Methoden des BaSyx-Simulink Connectors zur Interaktion mit Verwaltungsschalen nutzt.
- **Endpoint Configuration:** stellt die Informationen bereit, die für die Verbindung mit dem BaSyx AAS Server benötigt werden, wie z.B. Server-Endpoint, Port und Details zur Verwaltungsschale. Die Konfiguration erfolgt direkt in der grafischen MATLAB/Simulink-Benutzeroberfläche (GUI).

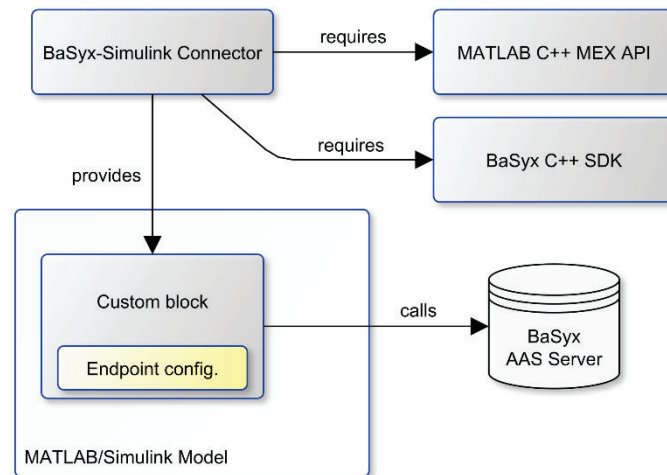


Abbildung 8: Architektur des Simulationsframeworks und seine Hauptkomponenten

Um die Effektivität und Benutzerfreundlichkeit der vorgeschlagenen Lösung zu gewährleisten, wurden mehrere Designüberlegungen berücksichtigt. Zu den funktionalen Anforderungen gehört die Fähigkeit, Werte aus einer Verwaltungsschale zu lesen und zu aktualisieren, Daten von einem BaSyx Registry Server abzurufen und Fehler auf der internen MATLAB/Simulink-Konsole anzuzeigen. Darüber hinaus kann die Bibliothek die asynchrone Kommunikation mit dem BaSyx AAS Server auf zuverlässige und effiziente Weise abwickeln. Die Bibliothek liest die Parameterwerte einmal zu Beginn der Simulation und setzt sie einmal am Ende der Simulation. Sie kann auch Fälle behandeln, in denen das Modell mit einer verlangsamtten Simulationsrate arbeitet und die ein synchrones Lesen und Konfigurieren der DT-Parameter erfordern.

Schließlich wurde bei der Entwicklung der Lösung auch auf Wartbarkeit und Erweiterbarkeit geachtet. Der Code wurde in modularer und flexibler Weise entwickelt, sodass er leicht geändert und erweitert werden kann, um zukünftigen Anforderungen gerecht zu werden. Diese Designüberlegungen zielten darauf ab, eine robuste und benutzerfreundliche Bibliothek bereitzustellen, die leicht an verschiedene Anwendungsfälle und Anforderungen angepasst werden kann.

2.1.4 AP4: Evaluation des Gesamtsystems

Die Bewertung des Systems wurde anhand der ersten beiden Anwendungsfälle durchgeführt.

2.1.4.1 Anwendungsfall 1 – Prädiktive Wartung

Um die Leistung des gesamten Systems zu bewerten, wurde ein öffentlich zugänglicher prädiktiver Wartungsdatensatz aus einer der Produktionsstätten von Schwan verwendet. Der Datensatz ist in drei unterschiedliche Segmente unterteilt, die jeweils Informationen zu einem Pool von 100 Industriemaschinen enthalten. Das erste Segment beschreibt spezifische Angaben zur Maschine, wie etwa Alter und Modell, die als „Modell 1, Modell 2, Modell 3 und Modell 4“ kategorisiert sind. Das zweite Segment erfasst stündliche Telemetriedaten, einschließlich Kennzahlen wie Zeit, Maschinen-ID, Spannung, Drehzahl, Druck und Vibrationsstufen. Das letzte Segment verzeichnet Maschinenausfälle anhand ihrer jeweiligen Zeitstempel.

Die Telemetrie- und Maschinenmerkmalssegmente wurden zu einer einheitlichen Tabelle zusammengeführt und anschließend wurden alle Spalten dieser Tabelle auf Werte zwischen null und eins normalisiert. Diese verfeinerten Daten wurden verwendet, um eine Reihe von virtuellen Sensoren zu generieren, die von Verwaltungsschale (VWS) verwaltet werden. Die Daten wurden dann durch MQTT-Protokolle an den IDS Connector übertragen, bei Erhalt verschlüsselt und anschließend in den Trusted Data Hub (TDH) hochgeladen.

Um eine Mehrparteien-Berechnungsumgebung zu simulieren, wurden die Maschinen und ihre zugehörigen Daten auf zwei virtuelle Fabriken verteilt. Dieses Setup zielte darauf ab, ein Szenario zu emulieren, in dem mehrere Einheiten bereit sind, ein maschinelles Lernmodell gemeinsam zu trainieren, während gleichzeitig ein gewisses Misstrauen untereinander besteht. In diesem Kontext dient der TDH als entscheidende Schnittstelle, die zwei gegensätzliche Ziele miteinander in Einklang bringt: die sichere und private Handhabung von Daten und deren praktische Verwendbarkeit für maschinelles Lernen.

Zu Testzwecken wurden zwei Python-Skripte entwickelt, um den Datensatz zu analysieren. Der erste Ansatz nutzte einen Entscheidungsbaum-Algorithmus, während der zweite Deep-Learning-Modelle verwendete (Abbildung 9). Diese Methoden wurden entwickelt, um zukünftige Maschinenausfälle vorherzusagen. Es wurde ein Ende-zu-Ende-Systemtest durchgeführt, um einen nahtlosen Datentransfer – von den virtuellen Sensoren über einen Connector zu einem anderen – sicherzustellen und zu bestätigen, dass der TDH die Analyse und das Training von Modellen in einer datenschutzbewussten Umgebung ermöglichen kann.

- **LSTM (Deep-Learning-Modell):** Dieses Modell ist ein sequentielles neuronales Netzwerk, das aus zwei LSTM-Schichten besteht, die mit Dropout-Schichten für die Regularisierung durchsetzt sind, gefolgt von einer dichten Ausgabeschicht mit einer Sigmoid-Aktivierungsfunktion. Es ist für binäre Klassifikationsaufgaben konzipiert und nimmt Sequenzen mit der Form (Zeitstempel, nb_features) als Eingabe, um einen einzelnen Wahrscheinlichkeitswert zwischen 0 und 1 auszugeben.
- **Entscheidungsbaum-Algorithmus:** Das zweite Modell basiert auf einem Entscheidungsbaum-Klassifikator, der mit der scikit-learn-Bibliothek entwickelt wurde. Es verwendet das Gini-Kriterium für die Entscheidungsfindung, setzt den Zufallsstatus für Reproduzierbarkeit auf 100, beschränkt den Baum auf eine maximale Tiefe von 3 und erfordert ein Minimum von 5 Proben pro Blattknoten für weitere Aufteilungen. Diese Einstellungen zielen darauf ab, die Komplexität des Modells zu steuern und potenzielles Overfitting zu mindern.

Die beiden von uns implementierten Algorithmen erreichten eine Genauigkeit von nahezu 90 %. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass die Entwicklung eines umfassenden voraus-

schauenden Wartungssystems nicht im Rahmen dieses Projekts lag. Unser Hauptziel bestand darin, eine PPML/MPC-Plattform zu etablieren, die in der Lage ist, verschiedene ML-Modelle auszuführen, anstatt sich mit speziellen Algorithmen für die vorausschauende Wartung zu befassen.

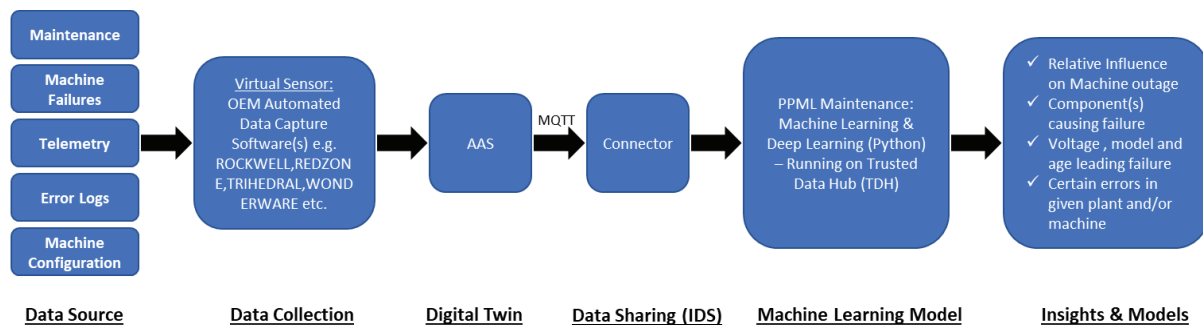


Abbildung 9: Pipeline für die Bewertung

2.1.4.2 Anwendungsfall 2 – Zustandsüberwachung

Es wurde ein Beispielszenario entwickelt, das die Funktionalität der vorgeschlagenen Lösung demonstriert. Zu diesem Zweck wurde ein vereinfachtes Zustandsüberwachungsbeispiel realisiert, in dem die Funktionsweise einer hydraulischen Presse in MATLAB/Simulink simuliert wird und ihre Verwaltungsschalen spezifiziert und in einem BaSyx AAS Server gespeichert werden. Die relevanten Parameter für die Überwachung werden dann in einem Dashboard angezeigt.

Das System überwacht den Zustand einer Maschine, um mögliche Ausfälle und Fehler frühzeitig zu erkennen. In diesem Beispiel werden Daten von einem Drucksensor an den Ein- und Auslassöffnungen des Zylinders verwendet, um festzustellen, ob die Druckmaschine normal arbeitet. Auf dem Armaturenbrett wird eine Warnung angezeigt, wenn ein vordefinierter Schwellenwert überschritten wird.

Das hydraulische System wurde mit MATLAB/Simscape [10]-Komponenten modelliert, hauptsächlich mit einer hydraulischen Stromversorgung, einem Proportionalventil (PV) und einem Hydraulikzylinder. Der Zylinder ist mit einem geführten Zylinder gekoppelt, der Kraft auf eine Last ausübt.

Der Vorgang beginnt damit, dass sich der Stößel schnell auf das Werkstück zu bewegt und sich bei der Annäherung verlangsamt. Die aufgebrachte Kraft nimmt mit der Bewegung des Zylinders zu, und die Steuerung erfolgt für eine bestimmte Zeit, um den gewünschten Wert zu erreichen, bevor der Stößel zurückfährt. Es wurde ein simulierter Fehler in Form einer externen Leckage am Zylinder (zwischen der Kolbenstange und dem Gehäuse) als druck- und geschwindigkeitsabhängige Strömung modelliert, die sich im Laufe der Simulation verschlimmerte.

Spezifikation und Einrichtung der Verwaltungsschale

Eine Verwaltungsschale *HydraulicPress* wurde erstellt, die das Teilmodell *Cylinder* und das Teilmodell *ConditionMonitoring* enthält. Im Teilmodell *Cylinder* sind drei Teilmodellelemente vorhanden: *pressureDrop*, *position* und *speed*, die die relevanten Parameter des Hydraulizylinders abbilden.

Das Teilmodell *ConditionMonitoring* enthält zwei Teilmodellelemente: *maxPressureDrop* und *warning*, wobei ersteres eine Beispielmetrik für die Zustandsüberwachung abbildet und letzteres ein einfaches Flag zum Auslösen eines Warnzustands bereitstellt.

Simulationsmodelle

Die Simulationsmodelle wurden in MATLAB/Simulink erstellt, um den Anwendungsfall zu implementieren:

- Das **Modell der hydraulischen Presse** simuliert das Verhalten der hydraulischen Presse und des angeschlossenen Drucksensors, der mit einem benutzerdefinierten Block verbunden ist, der die Verbindung zum Teilmodellelement *pressureDrop* im Teilmodell *Cylinder* verwaltet.
- Das **Zustandsüberwachungsmodell** implementiert einen einfachen Zustandsüberwachungsalgorithmus, um den maximalen Druckabfall zwischen den Zyklen zu ermitteln. Die Ergebnisse werden dann an das Teilmodell *ConditionMonitoring* gesendet (Abbildung 10).
- Das **Dashboard-Modell** zeigt die aktuellen Messwerte aus beiden Teilmodellen an.

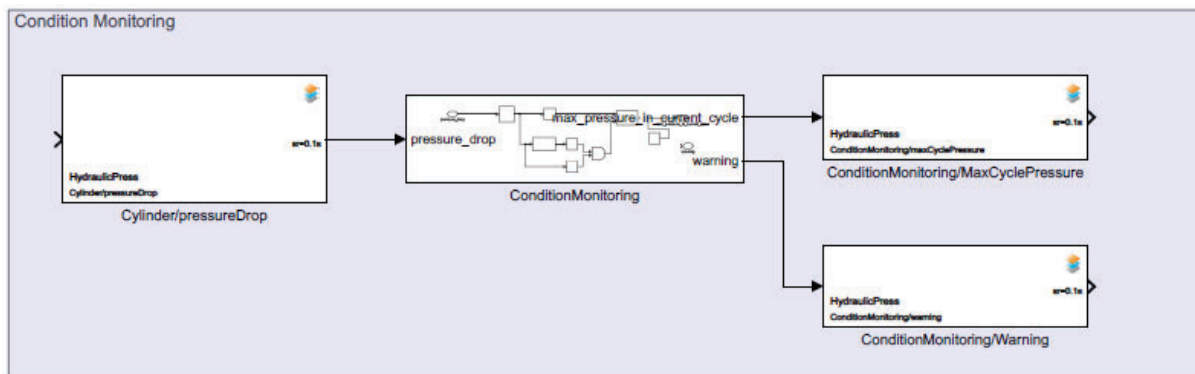


Abbildung 10: Überblick über das Zustandsüberwachungsmodell

Jedes der Modelle enthält Instanzen des *Custom Blocks*, der von der entwickelten Bibliothek bereitgestellt wird, sodass sie voneinander entkoppelt sind. Der *Custom Block* ist in der Lage, den Wert der angegebenen Teilmodellelemente der Verwaltungsschale abzurufen und zu aktualisieren. Zum Beispiel wird im Dashboard-Modell der vom Drucksensor gemessene Druckabfall direkt vom Verwaltungsschale abgerufen, unabhängig von den anderen Modellen.

Das Testszenario für die Zustandsüberwachung einer hydraulischen Presse wurde zyklisch durchgeführt, um die Konstruktionsüberlegungen zu validieren. Das Simulationstempo wurde so eingestellt, dass es mit der Wanduhrzeit übereinstimmt, und die Daten wurden mit einer

konstanten Abtastzeit, die in jedem *Custom Block* konfiguriert werden kann, von der Verwaltungsschale abgerufen bzw. an diese gesendet.

Die Auswertung der Ergebnisse basierte auf dem Vergleich des Druckabfalls, der vom Teilmodell *Zylinder* zwischen dem ersten und dem letzten Zyklus der Simulation mit und ohne den simulierten Fehler abgerufen wurde. Der Druckabfall ist ein kritischer Parameter für die Überwachung von Hydraulikpressen, und seine Schwankungen können auf einen Fehler im System hindeuten.

Insgesamt hat die Auswertung die Fähigkeit der vorgeschlagenen Lösung zur Echtzeit-Überwachung des Hydraulikpressensystems bestätigt. Der *Custom Block* war in der Lage, den Wert der angegebenen Teilmodellelemente aus der Verwaltungsschale abzurufen und zu aktualisieren.

Der vorgeschlagene Ansatz zeigt, wie die Integration von MBSE, Verwaltungsschale und BaSyx die Nützlichkeit und Zuverlässigkeit von Modellen durch die Einbeziehung von realen Daten aus Anlagen verbessern kann. Als Ergebnis können Hersteller Maschinen aus der Ferne in Echtzeit überwachen, während das simulierte Maschinenverhalten potenzielle Maschinenausfälle vorhersagen kann.

2.1.5 AP5: Projektmanagement und Dissemination

Der Austausch zwischen den Projektpartnern fand alle drei Wochen statt. In einigen Zeiträumen fanden auch zweiwöchentlich regelmäßige Treffen in Form einer Videokonferenz und einer großen Anzahl von Arbeitssitzungen statt. Eine Liste der besuchten Veranstaltungen und konkreten Aktivitäten zur Dissemination findet sich in Abschnitt 2.6.

2.2 Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Das Projekt hatte ein Gesamtfördervolumen von 628.151,14 €. Davon entfielen 98,9 % auf Personalkosten, 0,5 % auf Reisekosten und 0,6 % auf Investitionen.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Das Projekt zielte darauf ab, zwei wegweisende Technologien, BaSys 4.0 und die Referenzarchitektur der IDSA, zu harmonisieren, um drängende Fragen der Datensicherheit und des Datenaustauschs in der Industrie 4.0 zu lösen. BaSys 4.0 wurde als Middleware konzipiert, die Maschinen auf dem Shopfloor mit Datenanalyse verbindet, während IDSA sich auf den sicheren, geregelten Datenaustausch zwischen mehreren Parteien konzentriert. Durch die Kombination dieser Technologien wurden neue datengetriebene Anwendungen und Dienste entwickelt, die Funktionen wie Privacy-Preserving Machine Learning (PPML) und Multi-Party Computation (MPC) integrieren. Diese Technologien ermöglichen es mehreren Stakeholdern, sensible Daten kollektiv zu analysieren, ohne das individuelle Datenbesitzum zu gefährden.

Der Abschluss dieses Projekts ist insbesondere für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) von Vorteil, da es einige der Schlüsselherausforderungen mildert, denen sie bei der Einführung von Technologien der Industrie 4.0 gegenüberstehen. Oft fehlen KMU die Ressourcen, um robuste hausinterne Datensicherheitsprotokolle zu entwickeln. Sie können nun

dieses sichere Datenaustauschökosystem für verschiedene Anwendungen wie die prädiktive Wartung nutzen. Darüber hinaus ermöglicht die Möglichkeit der kollaborativen Datenanalyse durch die PPML- und MPC-Funktionen des Projekts KMU, verwertbare Erkenntnisse aus Daten zu gewinnen, ohne dass eine groß angelegte Dateninfrastruktur erforderlich ist. Somit wurde eine sichere, skalierbare und kollaborative Datenumgebung geschaffen, die eine beschleunigte technologische Weiterentwicklung und eine gerechtere Teilnahme an der Revolution der Industrie 4.0 erleichtert.

Insgesamt leistet das Forschungsprojekt einen innovativen Beitrag zur Neugestaltung von Datenökosystemen und kombiniert diese mit der Nutzung der Verwaltungsschale, um Daten mit Dritten zu teilen. Die Kombination von Daten aus verschiedenen Quellen ermöglicht eine umfassendere Analyse. Dadurch können Trends, Muster und Erkenntnisse aufgedeckt werden, die in isolierten Produktionsdatensätzen nur schwer zu entdecken wären. Darüber hinaus ermöglicht die gemeinsame Nutzung von Daten in einem Datenökosystem zum Beispiel eine effizientere und reaktionsschnellere Lieferkette. In dieser Hinsicht wurde Eclipse BaSyx weiterentwickelt, um die Aufnahme von Daten in Verwaltungsschalen und die gemeinsame Nutzung von Daten aus bestehenden Verwaltungsschalen mit externen Systemen zu erleichtern.

2.4 Verwertbarkeit des Ergebnisses

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse aus wirtschaftlicher und wissenschaftlicher Sicht zusammengefasst.

2.4.1 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Advaneo bietet eine zum Patent angemeldete Lösung für den Datenschutz beim maschinellen Lernen, bekannt als Trusted Data Hub (TDH). Diese Lösung behebt eine entscheidende Einschränkung, die in bestehenden Datenräumen wie IDS und GAIA-X³ vorhanden ist: die Unfähigkeit, den Datenschutz vollständig zu gewährleisten, sobald die Daten einen bestimmten Connector verlassen haben. Obwohl in den letzten Jahren verschiedene Kontrollsysteme für die Datennutzung vorgeschlagen wurden, sind diese noch nicht vollständig ausgereift und bieten keinen umfassenden Datenschutz. In diesem Zusammenhang schließt unsere vorgeschlagene Lösung diese Lücke effektiv, indem sie eine wesentliche Datenschuttschicht zu den Ökosystemen der Industrie 4.0 hinzufügt.

Außerdem können die in diesem Projekt vorgeschlagenen Konzepte auch in andere Richtungen erweitert werden. Die neue Eclipse BaSyx Mediator-Komponente, die *DataBridge*, kann nun Daten von Verwaltungsschalen vom AAS-Server an externe Systeme weiterleiten,

³ <https://gaia-x.eu>

nicht nur über IDS Connectors. In einem Szenario, in dem z.B. eine große Menge an Daten von Maschinen, Werkzeugen, Robotern etc. ausgetauscht werden soll, wäre es folglich möglich, eine Hierarchie von AAS-Servern aufzubauen, in der diese nur über diese DataBridge Verwaltungsschalen und Teilmodelle austauschen können.

Schließlich zwingen auch externe Faktoren wie EU-Verordnungen die Industrie zur raschen Einführung von Technologien, die eine gemeinsame Datenerfassung und einen gemeinsamen Datenaustausch ermöglichen, wie z. B. die Berechnung des CO₂-Fußabdrucks. Neben den Nachhaltigkeitszielen üben solche Vorschriften einen enormen Druck auf die Industrie, die Zulieferer und die Händler aus, beim Austausch solcher Daten zusammenzuarbeiten.

2.4.2 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Laut der Plattform Industrie 4.0 [11] liegt der Schwerpunkt der sogenannten Plattformökonomie auf dem Austausch von Informationen entlang der Wertschöpfungskette zwischen Partnern und Unternehmen. Der kollaborative Datenaustausch ist jedoch mehr als nur der Austausch von Daten, sondern basiert auf einer absichtlichen und vereinbarten gemeinsamen Nutzung von Daten für bestimmte Zwecke und zwischen autorisierten Partnern. In diesem Projekt wurde daher eine Lösung für diese Herausforderung vorgeschlagen, indem der Datenschutz mit den Vorteilen der Künstlichen Intelligenz kombiniert wurde. Dies bietet erhebliche Möglichkeiten für eine unternehmensübergreifende Zusammenarbeit in allen Phasen der Datenverarbeitung, von der Erfassung (mithilfe der Verwaltungsschale) bis zum sicheren Austausch (über den IDS Connector) und zur Berechnung (über den Trusted Data Hub).

Die technischen Artefakte, die im Rahmen dieses Projekts entstanden sind, werden bereits in Folgeprojekten eingesetzt und weiter ausgebaut. So wird beispielsweise der Trusted Data Hub (TDH), der derzeit in den Trusted Data Connector integriert ist, in Kürze in den Eclipse DataSpace Connector (EDC) integriert werden. Darüber hinaus ist auch eine Integration zwischen Eclipse BaSyx und dem EDC Connector geplant. Im Projekt BaSys4Transfer [12] werden derzeit Sicherheitsaspekte auf Ebene der Verwaltungsschale und auf Teilmodellebene untersucht. Darüber hinaus zielt die Initiative „*DataSpace for Everybody*“, eine Zusammenarbeit zwischen dem Fraunhofer IESE, IDTA und NetApp, auf die Bereitstellung einer technischen Infrastruktur und von Diensten für den Datenaustausch mit einem Fokus auf Identitätsanbietern, Erkennung/Register, Repository für Verwaltungsschalen und Teilmodellvorlagen. In dieser Infrastruktur sollen die in diesem Projekt gelieferten Komponenten wiederverwendet, getestet und weiter verbessert werden.

Insgesamt liefern die Ergebnisse dieses Projekts wertvolles Fachwissen und legen den Grundstein für vielseitige Automatisierungssysteme, Beratungsinitiativen in der Fabrikplanung und anpassungsfähige Fertigungstechnologien. Darüber hinaus sind die Ergebnisse entscheidend für Projekte, die sich auf kollaborative Datenintegration, Datenmanagement,

KI-Forschung und KI-gestützte Anwendungen konzentrieren. Diese Fülle an Wissen und praktischen Anwendungen erweitert unser Verständnis und unsere Fähigkeiten in diesen Bereichen erheblich und ebnet den Weg für zukünftige Innovationen.

2.5 Bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen

- GAIA-X: GAIA-X⁴ bietet eine föderierte sichere Dateninfrastruktur. Wir glauben, dass unser Projekt eine hervorragende Plattform und Grundlage für den industriellen Datenraum bildet, der GAIA-X zur Verfügung gestellt werden kann. Leider sind jedoch die erforderlichen Schnittstellen und Standards in GAIA-X nicht gut definiert, und wir warten auf die Veröffentlichung der neuen Entwurfsdokumente.
- Eclipse Dataspace Connector: Advaneo hat seinen eigenen IDSA-Connector entwickelt, aber wir würden gerne den Eclipse Dataspace Connector (EDC)⁵ integrieren und daran arbeiten, da wir der Meinung sind, dass dies die vielversprechendste Lösung ist und einen großen Markt haben wird. Die Pflege unserer IP könnte aus technischer Sicht zu teuer und riskant sein. Daher haben wir große Anstrengungen unternommen, um dieses Open-Source-Projekt besser zu verstehen und es in unser Projekt zu integrieren.
- IDSA-Arbeitsgruppe Industrie 4.0: Advaneo ist offizielles Mitglied der IDSA-Arbeitsgruppe Industrie 4.0, in der verschiedene Anwendungsfälle (z.B. Smart Factories) diskutiert werden. Advaneo hat auch die Integration von IDSA und BaSys in dieser Arbeitsgruppe gefördert.
- Die Manufacturing-X-Initiative⁶ zielt darauf ab, die industriellen Lieferketten zu digitalisieren. Basierend auf den Erfahrungen und den technischen Artefakten, die im Laufe dieses Projekts gesammelt wurden, denken wir, dass sie das Potenzial haben, bestimmte Anforderungen der entsprechenden Anwendungsfälle in diesem Bereich zu erfüllen.

⁴ <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/gaia-x.html>

⁵ <https://github.com/eclipse-edc/Connector>

⁶ <https://www.plattform-i40.de/IP/Navigation/EN/Manufacturing-X/Manufacturing-X.html>

2.6 Veröffentlichung des Ergebnisses

Folgende Publikationsaktivitäten fanden im Rahmen des Projekts statt:

- Vorstellung der Projektideen und des aktuellen Stands beim "Workshop BaSys 4 – 2 Jahre Erfahrung beim Einsatz der BaSys 4 Middleware", Fraunhofer-Forum Berlin, 11.-12. Oktober 2021.
- In Zusammenarbeit mit dem IESE hat Advaneo die Architektur und das zugrunde liegende Konzept in einem IDSA-Whitepaper veröffentlicht. (Noch nicht veröffentlicht).
- Advaneo stellt potenziellen Kunden die Lösung häufig in Webinaren vor, die nur auf Einladung stattfinden, um die Lösung zu vermarkten und neue Kunden zu gewinnen.
- Publikation mit Bezug zum Simulationsframework:
M. Molina und T. Treichel, "*Achieving Interoperability with MBSE and Asset Administration Shells: Integration of MATLAB/Simulink and BaSyx*," 2023 IEEE/ACM 11th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems and Software Ecosystems (SESoS), Melbourne, Australia, 2023, S. 1-4, doi: 10.1109/SESoS59159.2023.00005.
- Ein Blogbeitrag zum Thema Simulationsframework mit dem Titel „*Integrating Digital Twins with MATLAB/Simulink by using BaSyx*“ wurde auf der Website des Fraunhofer IESE veröffentlicht.
- Abschlusspräsentation des Projekts beim 21. Projekttreffen von BaSys4Transfer“, Fraunhofer IESE Kaiserslautern, 31.08.-01.09.2023.
- Open Access zur Implementierung und Dokumentation der BaSyx-Komponente für den Datenaustausch:
<https://github.com/eclipse-basyx/basyx-databridge/tree/main/databridge.examples/databridge.examples.aas-jsonata-mqtt>

3 Literaturverzeichnis

- [1] Plattform Industrie 4.0, „Details of the Asset,“ Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi), 10119 Berlin, 2020.
- [2] T. a. S. F. a. O. A. P. Kuhn, „Service-Based Architectures in Production Systems: Challenges, Solutions Experiences,“ in *2020 ITU Kaleidoscope: Industry-Driven Digital Transformation (ITU K)*, 2020.
- [3] V.-G. M. u. Automatisierungstechnik, „Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0) - Status Report,“ 2015. [Online]. Available: https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2016/januar/GMA_Status_Report_Reference_Architecture_Model_Industrie_4.0_RAMI_4.0/_GMA-Status-Report-RAMI-40-July-2015.pdf. [Zugriff am 13 July 2021].
- [4] E. F. & F. IESE, „Project Eclipse BaSyx,“ [Online]. Available: <https://projects.eclipse.org/projects/dt.basyx>.
- [5] I. D. S. A. & Partners, „IDS Reference Architecture Model,“ 2019. [Online]. Available: <https://internationaldataspaces.org/wp-content/uploads/IDS-Reference-Architecture-Model-3.0-2019.pdf>.
- [6] M. Molina und T. Treichel, „Achieving Interoperability with MBSE and Asset Administration Shells: Integration of MATLAB/Simulink and BaSyx,“ in *IEEE/ACM 11th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems and Software Ecosystems (SESoS)*, Melbourne, Australia, 2023.
- [7] W. Ferreira, F. Armellini und L. Santa-Eulalia, „Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review,“ in *Computers & Industrial Engineering, Volume 149*, 2020.
- [8] Mathworks, „MATLAB Simulink,“ [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/products/simulink.html>.
- [9] Fraunhofer IESE, „Eclipse BaSyx DataBridge,“ GitHub, [Online]. Available: <https://github.com/eclipse-basyx/basyx-databridge/tree/main/databridge.examples/databridge.examples.aas-jsonata-mqtt>.
- [10] „Product Simscape,“ Mathworks, [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/products/simscape.html>.
- [11] Plattform-i40, „Aufbau, Nutzung und Monetarisierung einer industriellen Datenbasis,“ [Online]. Available: <https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Datenbasis.html>.
- [12] F. IESE, „Referenzprojekt BaSys4Transfer,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.iese.fraunhofer.de/de/referenz/basys4transfer.html>.

PriMeD4BaSys

Private Mehrparteien-Datenanalyse mit BaSys

Kurzbericht

Datum	17.01.2024
Berichtszeitraum	01.02.2021 – 31.05.2023
Verbreitungsgrad	Öffentlich
Projekt	PriMeD4BaSys
Förderkennzeichen	01IS21014
 Laufzeit	 01.02.2021 – 31.05.2023

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

PriMeD4BaSys

Private Mehrparteien-Datenanalyse mit BaSys

Aufgabenstellung

Im Projekt PriMeD4BaSys wurde die Aufgabenstellung erfolgreich gelöst, wie sensible Daten (IP-Schutz, personenbezogener Datenschutz) aus der industriellen Fertigung (Maschinen, Sensoren und Produkten) standardisiert erfasst, sicher verarbeitet und mit externen Partnern unter Wahrung des Datenschutzes geteilt werden können.

Stand der Technik

Hierbei wurden drei getrennt voneinander entwickelte, State-of-the-art-Technologien „verheiratet“:

- das Verwaltungsschalenkonzept der Industrie 4.0 (hier konkret: die Middleware Eclipse BaSys 4.0),
- die Referenzarchitektur der International Data Space Association (IDSA)
- und der Trusted Data Hub (TDH der Advaneo GmbH).

Ablauf des Vorhabens

Das Projekt wurde im Rahmen der Projektlaufzeit vom 01.02.2021 bis zum 31.05.2023 strukturiert in 5 Arbeitspaketen systematisch erarbeitet:

- Anforderungsanalyse, Anwendungsfälle: Prädiktive Wartung und Zustandsüberwachung
- Konzeption und Architekturentwurf des Datenökosystems
- Umsetzung des Datenökosystems
- Evaluation des Gesamtsystems auf Basis der beiden Anwendungsfälle
- Projektmanagement und Dissemination.

Projektergebnisse

Die im Projekt erarbeitete Lösung ermöglicht es Unternehmen, vor allem KMUs, datenschutzsensible Daten sicher zu verarbeiten und zu teilen. Dadurch können sie kooperativ Machine-Learning-Modelle trainieren, was den Weg für die Schaffung innovativer Anwendungen und Dienstleistungen, wie z.B. vorausschauende Wartung, ebnet.

Abbildung 1 bietet eine visuelle Darstellung der integrierten Architektur. Wie in der Abbildung dargestellt, vereinfacht BaSys 4.0 die Erstellung von digitalen Zwillingen innerhalb eines Fabrikumfelds, während die IDSA-Komponente ein Datenökosystem über mehrere Fabriken hinweg schafft. Über diese grundlegenden Technologien hinaus hat Advaneo eine patentierte Lösung für datenschutzwahrendes maschinelles Lernen (PPML) und Mehrparteienberechnung

(MPC) namens Trusted Data Hub (TDH) vorgestellt. TDH ermöglicht es verschiedenen Entitäten, selbst hochsensible Daten, gemeinsam zu analysieren. Diese Synergie stellt sicher, dass sensible Daten verschiedener Stakeholder sicher miteinander verknüpft bleiben. Bemerkenswert ist, dass jeder Teilnehmer vor zusätzlichen Einblicken in die sensiblen Daten anderer geschützt ist und nur das Wissen behält, das aus der gemeinsamen Datenanalyse gewonnen wurde. Darüber hinaus bietet TDH vollständige Kompatibilität mit IDSA, da der IDSA-Konnektor als Kanal für verschlüsselte Datenuploads dienen kann. Die Effizienz des gesamten Systems wurde durch einen umfassenden Anwendungsfall für vorausschauende Wartung validiert, der den nahtlosen Datenfluss von Asset Administration Shells (der BaSys-Komponente) zum IDSA-Konnektor und anschließend zu TDH für eingehende Analysen zeigt. Dieses Modell ist vielversprechend für eine Vielzahl von Anwendungen in den Bereichen Industrie 4.0 und intelligente Fertigung, insbesondere wenn es darum geht, Verwaltungsschalen-Daten sicher und privat zu verarbeiten.

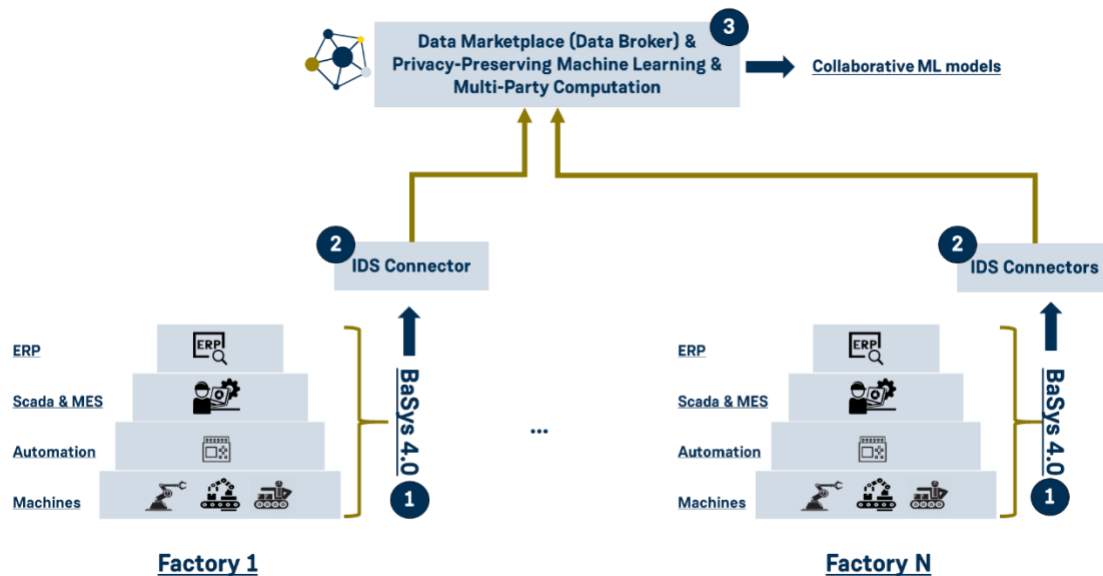


Abbildung 1. Die Kombination von BaSys 4.0, IDSA und TDH

Zusammenarbeit mit Forschungspartnern

Projektpartner im Projekt waren die Advaneo GmbH sowie das Forschungsinstitut Fraunhofer IESE. Die Aufgabe des Projektpartners Fraunhofer IESE bestand in der Anpassung/Erweiterung des Verwaltungsschalenkonzeptes (Simulation - Integration von Model-Based Systems Engineering) um Anwendungsfälle wie z.B. die der Maschinenzustandsüberwachung in Industrieanlagen zu ermöglichen.

Jürgen Bretfeld, Advaneo GmbH