
7 Fed-X-Pro

P. PATOLLA, C. FRIEDRICH, M. RICHTER, F. RUDOLPH, S. VOGT, M. SCHMIDT, K. WENZEL,
D. REICHELT, S. IHLENFELDT

Titel	Federated Services auf Basis von OPC UA und Gaia-X in der Produktion (Fed-X-Pro)
Förderlinie	Industrie 4.0 - Gaia-X-Anwendungen in Wertschöpfungsnetzwerken (InGAIA-X)
Laufzeit	01.10.2022 bis 31.12.2024
Fördermittelgeber	Bundesministerium für Bildung und Forschung
Förderkennzeichen	02J21D160

7.1 Einführung

In der modernen Fertigung stehen Unternehmen vor der Herausforderung, die Effizienz ihrer Maschinen und Werkzeuge kontinuierlich zu maximieren, um Produktionskosten zu senken und wettbewerbsfähig zu bleiben. Obwohl in den Maschinen sekündlich große Datenmengen entstehen und durch deren Auswertung das Wertschöpfungspotenzial gesteigert werden könnte, werden diese Daten bislang nicht für nachgelagerte Anwendungen und Dienste bereitgestellt. Gründe hierfür liegen zum einen in den hohen Anforderungen der Datenakquise und -bereitstellung an die maschinennahe Hard- und Software. Zum anderen sind die Investitionen in die digitale Infrastruktur durch noch unklare Amortisation für die Kunden sowie mit Risiken für geistiges Eigentum und Knowhow assoziiert. Gleichzeitig besitzen die Hersteller der Maschinen und ihrer Komponenten zwar das notwendige Knowhow für die Konzeption datengetriebener Anwendungen, jedoch fehlt ihnen der Zugang zu den Daten ihrer Produkte im laufenden Betrieb bei den Kunden. Die Wertschöpfung in der Produktion erfordert Zusammenarbeit und den Austausch von Wissen. Bisher erfolgt der Wissensaufbau auf Basis von Daten und Informationen für Hersteller und Anwender jedoch überwiegend getrennt voneinander. Trotz zunehmender Vernetzung von Anlagenbestandteilen mit übergeordneten Steuerung bzw. kompletter Anlagen mit Produktionsleistungssystemen, wie MES-Systemen, erfolgt die Generierung, Speicherung und Verwaltung von Wissen und zugrundeliegenden Daten nur lokal. Wenn Wissen ausgetauscht wird, dann höchstens bilateral und in der Regel in proprietärer Form [1]. Cloud-Infrastrukturen zur kollaborativen Zusammenarbeit und Realisierung neuer Anwendungsfälle, werden in der Produktion aus verschiedenen Gründen bislang kaum genutzt: Zum einen ist die sichere Datenspeicherung sowie der kontrollierte, zweckgebundene Datenaustausch unter der Wahrung der Datensouveränität mit bisherigen Cloudanbietern nicht möglich [2]. Es fehlt an interoperablen Beschreibungsformen über alle Ebenen. Semantische Industriestandards, wie OPC UA CS (Companion Specifications) und die Verwaltungsschale (Asset Administration Shell - AAS), kommen bisher bestenfalls im eigenen Datenraum zur Anwendung. Eine Verwendung der Standards als Datenquelle für Serviceanwendungen findet bisher nicht flächendeckend statt. Hier fehlen Konnektoren, die domänen spezifische Datenräume koppeln und so unternehmensübergreifende interoperable Anwendungen ermöglichen, z. B. für das maschinelle Lernen oder Servicedienstleistungen.

Das Ziel des Vorhabens Fed-X-Pro bestand daher darin, am Beispiel zweier neuartiger datengetriebener Produkt-Service-Anwendungen für hochwertige Zerspanwerkzeuge den Mehrwert vernetzter, unternehmensübergreifender Datenräume für die industrielle Fertigung zu demonstrieren. Im ersten

Service sollten hierfür Daten zum Lebenszyklus eines Werkzeuges, vom Werkzeugeinstellgerät bis zur Fertigung auf verschiedenen Maschinen, erfasst und für eine optimierte Überarbeitung des Werkzeugs für die externe Überarbeitung bereitgestellt werden. Durch die Verwendung von Low-Code Mechanismen sollte der Prozess für KMUs zusätzlich vereinfacht werden. Der zweite Service sollte Maschinenhersteller, Werkzeughersteller und mehrere Anwender dazu befähigen, gemeinsam ein KI-Modell mittels Federated Learning zu trainieren. Federated Learning beschreibt eine Methode, bei der zunächst lokale Modelle dezentral auf den Systemen der Nutzer trainiert werden, ohne dass deren Rohdaten an einen zentralen Service übertragen werden müssen und Rückschlüsse auf Kundendaten möglich werden. Die lokalen Modelle werden anschließend für das Training eines übergeordneten Modells verwendet. So sollten aus Maschinendaten mehrerer Anwender Vorhersagen zum Verschleißverhalten eines bestimmten Werkzeugs abgeleitet werden und zur Reduzierung von fehlerhaften Waren und Ausschuss beitragen.

Das Projektkonsortium bestand aus spezialisierten Partnern aus den Bereichen der produzierenden Unternehmen, Werkzeughersteller, KI- und Low-Code-Spezialisten sowie Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen. Die Anwenderunternehmen VPD, UKM, Grob-Werke und Gühring stellten im Projekt ihre Infrastruktur und Daten bereit. Katulu und Simplifier als Befähiger verarbeiteten und visualisierten die Daten in Rahmen der Service-Anwendungen. Und die Forschungspartner HTW Dresden und das Fraunhofer IVW sorgten für die Integration des Datenraums und die Steuerung des Projekts. Assoziierte Partner wie IONOS SE und der VDW unterstützten durch die Bereitstellung von Cloud-Lösungen und die Weiterentwicklung des OPC UA-Standards.

7.2 Relevanz von Gaia-X für das Projekt

Die Abhängigkeit von nicht-europäischen Hyperscalern und der damit verbundene Mangel an Datensouveränität stellt für viele Unternehmen ein Problem dar. Dem gegenüber steht ein erheblicher Bedarf an der vertrauenswürdigen und sicheren Verwendbarkeit von Daten zur Realisierung innovativer Geschäftsmodelle in der Produktion, wie der in Fed-X-Pro beschriebenen Produktions-Service-Anwendungen. Mit Gaia-X ist ein Rahmen entstanden, in dem datengetriebene Anwendungen unter Beachtung des Datenschutzes und der Datensouveränität ermöglicht werden. Das Projekt nutzte daher die domänen- und unternehmensübergreifende Architektur von Gaia-X, um universell einsetzbare Anwendungen zur Wertschöpfungssteigerung in der Produktionstechnik zu realisieren. Durch seinen föderierten Ansatz bietet Gaia-X die Möglichkeit, auf Daten und Dienste in einem dezentralen Netzwerk zuzugreifen, ohne von einzelnen Service-Anbietern abhängig zu sein. Hierdurch konnte eine flexible, gegenüber Vendor Lock-ins resistente Lösung geschaffen werden. Ein weiterer relevanter Punkt war die Interoperabilität und Portabilität, die die Architektur von Gaia-X vorsieht. Durch die Anwendung dieser Standards könnten verschiedene Services, Anwendungen und Technologien flexibel kombinieren und angepasst werden, was die Effizienz und Zukunftssicherheit des Projekts sichert. Die Möglichkeit, Services nahtlos zu wechseln und Komponenten bei Bedarf zu erweitern oder anzupassen, ohne die Integrität und Sicherheit des Systems zu gefährden, garantiert die Skalierbarkeit über das Projekt hinaus. Von entscheidender Relevanz für das Projekt, war die Vorlage zum Aufbau einer sicheren, vertrauenswürdigen und transparenten Datenökosystem-Plattform, die es ermöglichte, Daten innerhalb klar definierter Standards und Rahmenbedingungen zu speichern, zu verarbeiten und zu teilen, und das unter vollständiger Einhaltung der europäischen Datenschutzrichtlinien (wie der DSGVO). Durch die Verwendung des Gaia-X konformen EDC-Datenraumkonektors konnte so ein richtlinienbasierter Datenaustausch mit Zugangs- und Nutzungsrichtlinien ermöglicht werden.

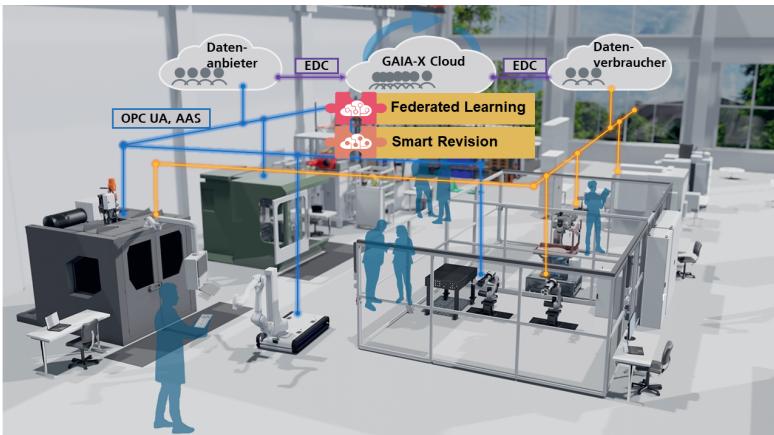


Abbildung 7.1: Federated Learning und Smart Revision durch die Verwendung von OPC UA, AAS und Gaia-X in der kognitiven Produktion [3]

7.3 Methodik/Umsetzung

Der Lösungsansatz im Projekt Fed-X-Pro bestand in der domänen- und unternehmensübergreifenden Bereitstellung von Service-relevanten Informationen durch die Anwendung von Industrie 4.0 Standards für digitale Zwillinge und von Methoden zur Verlinkung von Daten. Die Strukturierung und semantische Beschreibung der digitalen Zwillinge erfolgte mittels Industrie-4.0-Verwaltungsschale (AAS) als zentralen Integrationspunkt für verknüpfte Maschinen- und Prozessdaten. Durch die direkte Anbindung der digitalen Zwillinge an einen Datenraum-Konnektor konnten diese Daten im Projekt von vertrauenswürdigen Partnern im Wertschöpfungsnetzwerk unter Erfüllung definierter Richtlinien abgerufen werden.

Als Testumgebungen für die Entwicklung wurden u. a. eine Fräsmaschine am Fraunhofer IWU sowie Testanlagen bei den Praxispartnern UKM technologies GmbH und VPD GmbH ausgewählt und mit einer Reihe von zu untersuchenden Werkzeugen ausgestattet. Für die Umsetzung mussten zunächst die Fähigkeit der Maschinen zur Datenerfassung, Vorverarbeitung und Bereitstellung prozessaktueller Daten ermittelt und die hard- und softwaretechnischen Voraussetzungen geschaffen werden. Dies umfasste eine zu OPC UA CS-konforme Modellierung und die Entwicklung von Applikationen zur Datenvorverarbeitung sowie die Integration von OPC UA-Servern, Edge-Devices und Informationsmodellen in die Steuerungen. Parallel dazu wurden relevante Datenpunkte für die Analyse aus den Anlagen identifiziert. Neben Anlageninformationen (Energieverbräuche, Schwingungen usw.) sollten auch Informationen aus MES- und ERP-Systemen u.ä. einfließen können, z. B. aus dem Werkzeugmanagement (Vermessungsinformationen, Schnittkantenoberfläche oder Überarbeitungsgrad) oder Informationen zum eingesetzten Material und zur durchschnittlichen Prozesslaufzeit, die für spätere Auswertungen relevant sein können.

Anschließend erfolgte die Entwicklung einer Datenverarbeitungspipeline zur Aggregation und Bereitstellung von Service-relevanten Daten im einen gemeinsamen Datenraum. Für die Erfassung der Datenpunkte aus dem Fertigungsprozess wurde die von Fraunhofer entwickelte LinkedFactory verwendet. Diese ermöglicht es, Prozessdaten mit zusätzlichen Informationen (wie z. B. Auftragsdaten oder Maßeinheiten) zu verknüpfen und in einer Zeitreihendatenbank persistent abzulegen. Die für die

Datenerfassung relevanten OPC UA Knoten wurden von der LinkedFactory aus der AAS ausgelesen, welche selbst keine Prozessdaten speichert, sondern die entsprechenden Endpunkte für den Zugriff vorhält. Die AAS selbst liefert also keine Live-Daten oder Zeitreihen, sondern bietet standardisierte Zugriffspunkte und Referenzen zu diesen Daten. Im Kern der entwickelten Datenverarbeitungspipeline steht der Eclipse DataSpace Components Connector (EDC Connector), der als Verbindungsstück und Vermittler für den Zugang zum Datenraum verantwortlich ist. Durch die Implementierung einer EDC-Erweiterung wurde dieser in die Lage versetzt registrierte Verwaltungsschalen automatisch nach zur Freigabe markierten Datensätzen zu durchsuchen und diese in seinem Katalog mit zugehörigen Richtliniendefinitionen zu veröffentlichen.

Nach der erfolgreichen Installation der entwickelten Datenverarbeitungspipeline bei den beteiligten Unternehmen erfolgte die Anbindung der im Rahmen des Projektes entstandenen Service-Anwendungen. Mittels der Simplifier Low-Code-Plattform wurde auf Seiten der Werkzeughersteller eine Anwendung zum Abruf von Informationen für zu überarbeitende Werkzeuge geschaffen. Dieser Datenzugriff erlaubt eine schnellere Abschätzung von Aufwand und Kosten der Überarbeitung auf Basis realer Einsatzdaten. Für das Federated Learning Szenario wurden zwei Varianten umgesetzt. Um ein lokales Modell trainieren zu können, wird an der Datenquelle üblicherweise ein zusätzliche Soft- und oder Hardwaresystem (Agent) benötigt. Sofern die Installation dieses zusätzlichen Systems im Unternehmen möglich ist, erfolgt die Anbindung des lokalen Agenten direkt über die AAS. Der Agent kann die für das lokale Training benötigten Daten aus dem Modell des digitalen Zwillinges beziehen und sein generiertes Modell anschließend wieder in der AAS ablegen oder dort referenzieren. Die Verwendung der AAS bietet den Vorteil, dass der Agent nicht auf die Unternehmensinfrastruktur angepasst werden muss, sondern gegen eine standardisierte Schnittstelle spricht. Ist die Installation des Agenten im Unternehmen hingegen nicht umsetzbar, besteht alternativ die Möglichkeit einen gesonderten Agenten-Service im Datenraum für das Training des vorgelagerten Modells zu verwenden. Dieser erhält unter strengen Zugangs- und Nutzungsrichtlinien per EDC Zugriff auf die Rohdaten und liefert auf dem selben Weg ein lokales Modell zurück an die AAS des Anwenders. In beiden Varianten erfolgt anschließend die Bereitstellung des eigenen Modells für das Training beim KI-Service-Anbieter. Als Rückkanal für das finale KI-Modelle wird auch hier der EDC genutzt.

7.4 Ergebnisse

Die in Fed-X-Pro prototypisch umgesetzte Datenpipeline ermöglicht es, neue Produkt- und Produktions-Services auf Basis realer und verteilt erfasster Daten (Maschinen- & Prozessdaten) zu entwickeln. Diese wurden durch die Schaffung eines domänen- und unternehmensübergreifenden Datenraumes und entsprechender Konnektoren auswertbar gemacht. Im Projekt wurde hierfür der EDC Connector genutzt und mittels eigens entwickelter Erweiterungen an die Anforderungen angepasst. Innerbetrieblich wurden Daten von Maschinen und Anlagen unter Verwendung der Verwaltungsschale (AAS) an den EDC angebunden. Zur Aggregation diverser Datenquellen und langfristigen digitalen Speicherung von Maschinen- und Prozessinformationen in Form von Zeitreihendaten wurde die Fraunhofer LinkedFactory verwendet. Durch den gemeinsamen Datenraum können Dienstleister mit ihren Konnektoren die bereitgestellten Daten anfordern und daraus Mehrwert schöpfen, z. B. durch die Schaffung neuer KI-Dienste. Der Datenanbieter behält dabei stets die Hoheit über seine Daten, kann aber auf die Fähigkeiten der Dienstleister zurückgreifen. Die erarbeiteten Konzepte sind in Transfer- und Lehrformate der Forschungspartner und Workshops innerhalb des Konsortiums eingeflossen, um die Nachnutzung der Ergebnisse und die Fähigkeit zur eigenständigen Weiterentwicklung zu gewährleisten.

7.5 Diskussion & Fazit

Trotz der umfassenden wissenschaftlichen Erforschung von Datenraumkonzepten und verteilten Cloud-Infrastrukturen fehlt es weiterhin an einer flächendeckenden Verbreitung in der Fertigungsindustrie bzw. dem verarbeitenden Gewerbe. Zwar schließen die Spezifikationen und Implementierungen von Infrastrukturen, die der Gaia-X-Architektur folgen, in ihrer Reife zu industriellen Standards wie OPC UA und AAS auf. Diese Reife konnte auch anhand der im Projekt realisierten Service-Anwendungen demonstriert werden, die einen praktisch nutzbaren Lösungsansatz zu dem alten ingenieurtechnischen Problem der Werkzeugabnutzung und -wartung bieten. Es fehlt jedoch noch an einfachen Plug&Play-Lösungen zur Systemintegration der zugrundeliegenden Technologien, insbesondere der Datenraumkonnektoren. Mit Fed-X-Pro wurde ein erster wichtiger Schritt in diese Richtung gemacht, indem Prozesse (wie die Datenabfrage) vereinheitlicht und eine durchgängige Datenverfügbarkeit durch eine konsequente Koppelung mit Informationsmodellen aus OPC UA und AAS erreicht wurde. Die Verwendung von Low-Code & No-Code-Ansätze auf Anwendungsebene konnten die Einstiegshürde für KMUs zusätzlich senken. Eine wesentliches Erkenntnis des Projektes war, das seitens der beteiligten und befragten KMUs ein starkes Bedürfnis nach Services zur Optimierung der gegenwärtigen Produktion besteht, das Interesse an einem monetarisierten Datenhandel jedoch vergleichsweise gering ist.

Literaturverzeichnis

- [1] M. Volkwein, J. Schmitt, J. Heidelbach, O. Schöllhammer, D. Evcenko, and H. Kett. Blinde Flecken in der Umsetzung von Industrie 4.0 – identifizieren und verstehen. *Acatech*, 2022. URL <https://publica.fraunhofer.de/handle/publica/434370>.
- [2] O. Hillermeier, M. Punter, K. Schweichhart, and T. Usländer. Data sovereignty – critical success factor for the manufacturing industry. Technical report, International Data Spaces Association, 2021. URL <https://doi.org/10.5281/zenodo.5675873>. Published by the International Data Spaces Association.
- [3] C. Friedrich, S. Vogt, F. Rudolph, P. Patolla, J. Grützmann, O. Hohmeier, M. Richter, D. Reichelt, and S Ihlenfeldt. Enabling Federated Learning Services Using OPC UA, Linked Data and GAIA-X in Cognitive Production. *Journal of Machine Engineering*, 2024. URL <https://doi.org/10.36897/jme/188618>.