

Kapitel 11:

Workflows zur Asset-Connectivity

Einleitung

Ein bidirektionaler Informationsfluss zwischen physischen Assets und ihren virtuellen Abbildern ist für viele zentrale Anwendungsszenarien des Industrial Metaverse Grundvoraussetzung. Erst durch den automatisierten, kontinuierlichen und bidirektionalen Datenaustausch¹ können Zustände präzise abgebildet, Prozesse in Echtzeit überwacht und Entscheidungen datenbasiert unterstützt werden. Dadurch entstehen nicht nur Effizienzgewinne, sondern auch neue Formen der Zusammenarbeit zwischen Mensch, Maschine und digitalen Services.

Ziel des Kapitels

Dieses Kapitel soll interessierten Lesern eine Orientierung darüber geben, wie ein bidirektionaler Datenfluss zwischen dem Industrial Metaverse und Assets umgesetzt werden kann. Ein solcher Prozess wird am Beispiel einer Roboteranlage mit industrieller Steuerung exemplarisch, jedoch mit Referenzcharakter, dargestellt. Die Software [Collectu](https://collectu.de) (<https://collectu.de>) bildet dabei die Grundlage für die Umsetzung der Asset-Connectivity. Sie fungiert als verbindendes Element zwischen den verschiedenen Schnittstellen und Systemen.

Motivation und Bedarf

Die kontinuierlich zunehmende Komplexität industrieller Produktionsprozesse macht neue Ansätze erforderlich, um Daten aus physischen Assets effizient zu nutzen und in wertschöpfende Prozesse zu überführen. Für die Erfüllung der steigenden Anforderungen an Effizienz, Robustheit und Flexibilität sind klassische Datenerfassungssysteme, die lediglich Informationen sammeln und visualisieren, nicht mehr ausreichend. Dies betrifft nicht nur die vertikale Vernetzung von der Fertigungsebene bis zur Managementebene, sondern insbesondere auch die horizontale, unternehmensübergreifende Vernetzung, also die Verbindung von Prozessen und Systemen entlang der Wertschöpfungskette.

¹ Kritzinger et al. definieren Digitale Modelle, Digitale Schatten und Digitale Zwillinge. Die Ausprägungen unterscheiden sich hinsichtlich des Datenaustausches zwischen dem digitalen und dem physischen Objekt. Beim Digitalen Modell findet ausschließlich ein manueller Datenfluss statt. Beim Digitalen Schatten findet ein automatisierter Datenfluss vom physischen zum digitalen Objekt statt. Eine Änderung am physischen Objekt bewirkt somit eine Änderung des Digitalen Schattens. Beim Digitalen Zwilling hingegen findet ein bidirektionaler automatisierter Datenaustausch statt.

In diesem Kontext ist der Aufbau geschlossener Regelkreise entscheidend. In diesen werden Daten nicht nur erfasst, sondern auch automatisiert verarbeitet, interpretiert und in Form von Rückmeldungen an die Assets und die beaufsichtigenden Personen übermittelt. Dieser bidirektionale Informationsfluss bildet die Grundlage für kognitive Automatisierung und ist somit ein differenzierender, effizienzsteigernder und folglich wettbewerbsentscheidender Faktor im Kontext des Industrial Metaverses.

Der konkrete Bedarf ergibt sich aus mehreren Dimensionen:

- **Transparenz:** Durchgängige Sichtbarkeit von Maschinenzuständen und Produktionsfortschritten schafft die Basis für datengetriebene Entscheidungen.
- **Effizienz:** Virtuelle Modelle ermöglichen es, Optimierungen vorab zu testen und sicher in reale Produktionsprozesse zu übertragen.
- **Flexibilität:** Steuerungsänderungen und Parametrierungen können ohne Eingriffe in die physische Anlage simuliert und validiert werden.
- **Sicherheit:** Frühzeitige Erkennung von Anomalien oder Fehlfunktionen erlaubt präventives Handeln und reduziert Ausfallrisiken.

Über den aktuellen Nutzen hinaus eröffnet die Asset-Connectivity auch Perspektiven für die zukünftige Nutzung von KI-Agenten und selbstlernenden Systemen. Diese können beispielsweise als autonome Akteure innerhalb des Industrial Metaverse auftreten:

- **KI-Agenten** analysieren kontinuierlich Betriebsdaten, leiten Handlungsempfehlungen ab oder stoßen eigenständig Maßnahmen an.
- **Multi-Agenten-Systeme** koordinieren komplexe Produktionsketten und reagieren flexibel auf Störungen oder Nachfrageänderungen.
- In Kombination mit **generativen KI-Modellen** können neue Prozessvarianten entworfen und automatisiert validiert werden.

Mittelfristig entsteht somit eine Vision, in der physische Anlagen, digitale Zwillinge und KI-Agenten in einem selbstorganisierten Ökosystem zusammenwirken. Dadurch sind nicht nur hochgradig resiliente Produktionsnetzwerke möglich, sondern auch völlig neue Geschäftsmodelle wie Pay-per-Use von Produktionskapazitäten oder adaptive Serviceangebote.

Damit wird deutlich, dass Workflows zur Asset-Connectivity ein erster, unverzichtbarer Baustein für die Verwirklichung dieser Visionen sind. Unternehmen, die frühzeitig auf diese Entwicklung setzen, sichern sich operative Effizienzgewinne und einen strategischen Vorsprung in der zukünftigen industriellen Wertschöpfung.

Referenzarchitektur

Die Referenzarchitektur zur Umsetzung der Asset-Connectivity im Kontext des Industrial Metaverse basiert auf einem ereignisgesteuerten Kommunikationsparadigma. Zentrale Elemente sind MQTT-Broker (Message-Oriented Middleware), über die Nachrichten veröffentlicht und abonniert werden können. Sie bilden die Grundlage für einen flexiblen und skalierbaren Datenaustausch zwischen den verschiedenen Systemkomponenten.

Die Assets bzw. die dazugehörigen Steuerungssysteme werden über die No-Code-Plattform Collectu angebunden. Collectu fungiert dabei als zentrale Datendrehscheibe (vgl. Voraussetzungen

- Asset mit PC/Edge Device (hier Industrie-PC mit Windows 11 und Beckhoff TwinCAT 3)
- NVIDIA Omniverse (ISAAC Sim)
- 3D-Modell des Assets im USD-Format (**U**niversal **S**cene **D**escription).

ACHTUNG:

Das 3D-Modell muss kinematisiert sein. Das bedeutet, dass die einzelnen Submodelle entsprechend ihrer Bewegungsbeziehungen gruppiert und in einer korrekten hierarchischen Struktur angeordnet werden müssen.

Schritt-für-Schritt-Anleitung

1. Infrastruktur vorbereiten (MQTT-Broker)

Richten Sie zunächst einen MQTT-Broker ein.

TIPP: Verwenden Sie Eclipse Mosquitto™ (<https://mosquitto.org>) in einem Docker-Container für maximale Flexibilität (auf Port-Freigabe achten) – oder greifen Sie direkt auf den managed MQTT-Broker des Collectu Hub zurück, um Setup-Aufwand zu sparen.

2. Collectu Core installieren

Installieren Sie den Collectu Core auf dem Asset-PC gemäß der offiziellen Anleitung:

<https://collectu.de/docs>

3. Datenpipeline im Collectu Core konfigurieren

1. ADS-Client anlegen, um Positionsdaten aus der Beckhoff-Steuerung auszulesen. Alternativ stehen Module für verschiedene Steuerungen und Schnittstellen zur Verfügung.
2. Mit Pfadnamen des im Modell zu bewegenden Prims anreichern und falls erforderlich Einheiten konvertieren.
3. Anschließend einen MQTT-Client konfigurieren, der die aufbereiteten Positionsdaten an den MQTT-Broker überträgt.

4. ISAAC Sim vorbereiten

1. Installieren Sie in ISAAC Sim die MQTT-Client-Extension, um Daten aus dem MQTT-Broker zu empfangen.
2. Laden Sie das passende USD-Modell in ISAAC Sim und aktivieren Sie die Extension.

). Collectu ermöglicht die Definition von Datenmappings, sodass Steuerungsdaten aus proprietären Formaten in standardisierte Strukturen überführt und auf den MQTT Brokern veröffentlicht werden können. Darüber hinaus lassen sich mit Collectu direkt OPC UA-Server und Verwaltungsschalen (Asset Administration Shells, AAS) erstellen oder bestehende Systeme nahtlos integrieren. **Durch eine Synchronisation mit den Steuerungen wird sichergestellt, dass physische Assets und ihre digitalen Repräsentationen jederzeit konsistent und aktuell sind.**

Auf diese Weise übernimmt Collectu die Rolle einer Integrationsplattform, die unterschiedliche Schnittstellen harmonisiert, Daten bidirektional austauscht und eine herstellerunabhängige, standardisierte Beschreibung der Assets gewährleistet. Dadurch wird die Interoperabilität

zwischen verschiedenen Systemen erhöht und die Grundlage für durchgängige Datenflüsse entlang des gesamten Lebenszyklus eines Assets geschaffen.

Die Kombination aus MQTT, OPC UA und Verwaltungsschalen führt zu einer skalierbaren, flexiblen und zukunftsfähigen Architektur. Diese eignet sich gleichermaßen für die Zustandsüberwachung, die aktive Steuerung und die kontinuierliche Optimierung industrieller Prozesse. Die Architektur bildet somit nicht nur ein robustes Fundament für aktuelle Industrie-4.0-Szenarien, sondern auch für zukünftige Anwendungen im Industrial Metaverse, in denen die Grenzen zwischen physischer und digitaler Welt zunehmend verschwimmen.

MQTT Omniverse Extension

Die Anbindung an NVIDIA Omniverse erfolgt über eine speziell entwickelte MQTT-Client-Extension² (vgl. Code 1). Diese dient als Schnittstelle zwischen der Simulationsumgebung und den Datenquellen. Über diese Erweiterung können Zustandsinformationen von physischen Assets abonniert und in Omniverse verarbeitet werden. Die Informationen werden über einen MQTT-Broker veröffentlicht. So lassen sich Maschinenzustände, Sensordaten oder Bewegungsparameter nahtlos in das virtuelle Abbild integrieren.

Um eine realitätsnahe und flüssige Visualisierung von Bewegungen sicherzustellen, werden die eingehenden Positionsdaten bei Bedarf mit Zeitstempeln versehen. Mithilfe der Analyse der Datenübertragungsfrequenz auf Basis dieser Zeitstempel kann die Bewegungsausführung linear interpoliert und somit hochaufgelöst visualisiert werden.

Vorgehensweise am Beispiel einer industriellen Roboteranlage

Voraussetzungen

- Asset mit PC/Edge Device (hier Industrie-PC mit Windows 11 und Beckhoff TwinCAT 3)
- NVIDIA Omniverse (ISAAC Sim)
- 3D-Modell des Assets im USD-Format (**U**niversal **S**cene **D**escription).

ACHTUNG:

Das 3D-Modell muss kinematisiert sein. Das bedeutet, dass die einzelnen Submodelle entsprechend ihrer Bewegungsbeziehungen gruppiert und in einer korrekten hierarchischen Struktur angeordnet werden müssen.

² Weitere Informationen zur Erstellung von Extensions in NVIDIA Omniverse finden Sie unter folgendem Link: <https://docs.omniverse.nvidia.com/extensions>

Schritt-für-Schritt-Anleitung

5. Infrastruktur vorbereiten (MQTT-Broker)

Richten Sie zunächst einen MQTT-Broker ein.

TIPP: Verwenden Sie Eclipse Mosquitto™ (<https://mosquitto.org>) in einem Docker-Container für maximale Flexibilität (auf Port-Freigabe achten) – oder greifen Sie direkt auf den managed MQTT-Broker des Collectu Hub zurück, um Setup-Aufwand zu sparen.

6. Collectu Core installieren

Installieren Sie den Collectu Core auf dem Asset-PC gemäß der offiziellen Anleitung:

<https://collectu.de/docs>

7. Datenpipeline im Collectu Core konfigurieren

4. ADS-Client anlegen, um Positionsdaten aus der Beckhoff-Steuerung auszulesen. Alternativ stehen Module für verschiedene Steuerungen und Schnittstellen zur Verfügung.
5. Mit Pfadnamen des im Modell zu bewegenden Prims³ anreichern und falls erforderlich Einheiten konvertieren.
6. Anschließend einen MQTT-Client konfigurieren, der die aufbereiteten Positionsdaten an den MQTT-Broker überträgt.

8. ISAAC Sim vorbereiten

3. Installieren Sie in ISAAC Sim die MQTT-Client-Extension, um Daten aus dem MQTT-Broker zu empfangen.
4. Laden Sie das passende USD-Modell in ISAAC Sim und aktivieren Sie die Extension.

³ Ein Prim bezeichnet einen grundlegenden Baustein oder ein Element einer Szene innerhalb des USD-Frameworks. Prim ist die Abkürzung für „primitive“ und steht für ein einzelnes Objekt oder eine einzelne Entität innerhalb der Szenenhierarchie.

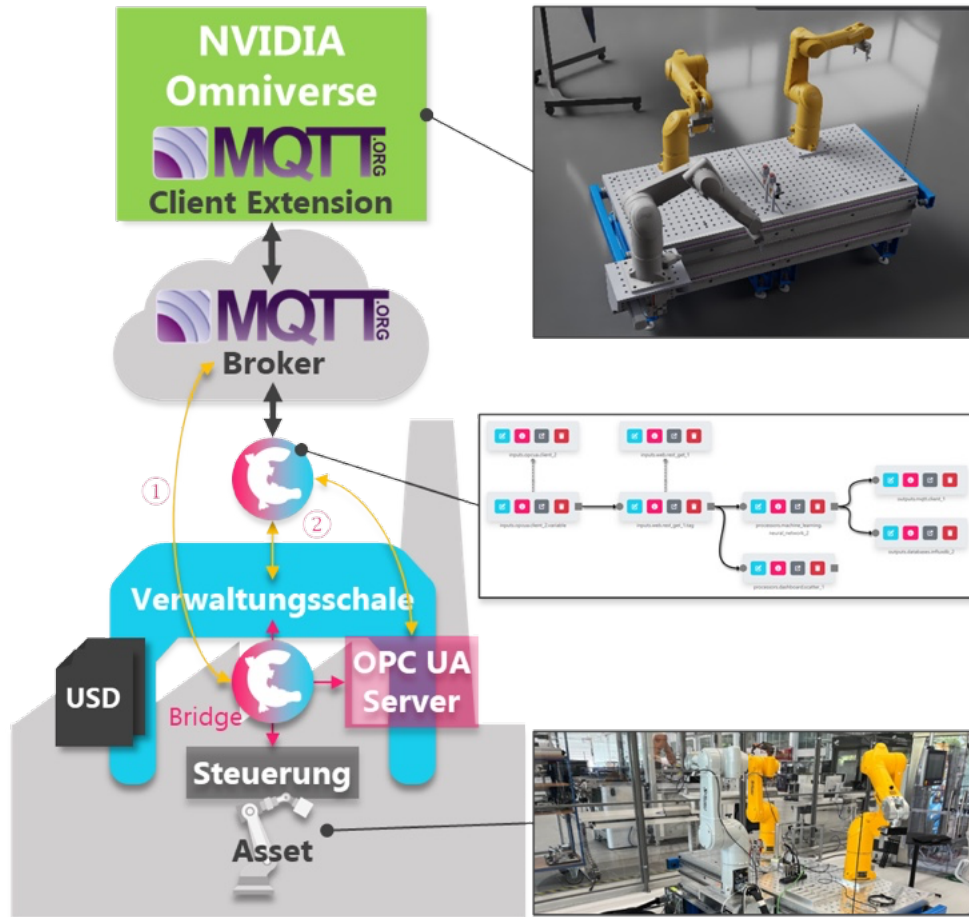


ABBILDUNG 23 REFERENZARCHITEKTUR FÜR DIE ASSET-CONNECTIVITY.

Fazit

Die Umsetzung eines bidirektionalen Datenflusses zwischen physischen Assets und dem Industrial Metaverse ist entscheidend, um digitale Zwillinge zu mehr als nur statischen Abbildern zu machen. Mithilfe von Collectu, der Verwaltungsschale, sowie standardisierten Protokollen wie OPC UA und MQTT und durch die direkte Anbindung an Omniverse entsteht eine skalierbare Architektur. Diese eignet sich sowohl für einzelne Anlagen als auch für komplexe Produktionssysteme und Wertschöpfungsnetzwerke.

Die Verbindung von Echtzeitdaten, virtueller Simulation und steuernder Rückkopplung eröffnet Unternehmen neue Potenziale in den Bereichen Effizienzsteigerung, Fehlerminimierung, Nachhaltigkeit und Innovationsgeschwindigkeit.