

Edge-Management-Interoperabilität basierend auf der Verwaltungsschale

Markus Rentschler ARENA2036 e.V. 70569 Stuttgart, Germany markus.rentschler@arena2036.de	Xuan-Thuy Dang Yacoub GmbH 13355 Berlin, Germany xuan.thuy.dang@yacoub.de	Dr. Dominik Rohrmus Labs Network Industrie 4.0 e.V. 10117 Berlin, Germany dominik.rohrmus@siemens.com	Dr. Andreas Graf Gatterburg Hilscher Gesellschaft für Systemautomation mbH 65795 Hattersheim, Germany Agatterburg@hilscher.com
---	--	---	--

Abstract: IIoT-Gerätemanagement bezieht sich auf die Bereitstellung, Registrierung, Konfiguration, Überwachung und Wartung von angeschlossenen Geräten in industriellen Netzwerken. IT-Dienstleister und Gerätehersteller bieten in der Regel entsprechende Dienste und Schnittstellen an, die jedoch in den meisten Fällen nicht miteinander kompatibel sind. An der sogenannten „Edge“ zwischen der IT-Ebene und dem industriellen Netzwerk sind wichtige Funktionen und Datenprotokolle noch nicht standardisiert. Die Interoperabilität zwischen verschiedenen beteiligten Lösungen und Produkten über die architektonischen Schichten hinweg erfordert weitere Standardisierung. In diesem Beitrag wird der aktuelle Stand über die Aktivitäten des Testbeds „Edge Management“ des „Labs Network Industry 4.0 e.V.“ vorgestellt, welches Edge-Technologien herstellerübergreifend bezogen auf international standardisierte Softwareschnittstellen evaluiert.

Keywords: API, AAS, REST, Internet of Things, Interoperability, IIoT, Web of Things, W3C

1 Einleitung

Die Konzepte des „Industrial Internet of Things (IIoT)“ und „Industrie 4.0“ bzw. „Smart Manufacturing“ verändern die Art und Weise, wie Daten in Kommunikationsnetzwerken gehandhabt, verarbeitet und geliefert werden. In diesem Zusammenhang hat sich der Begriff IT/OT-Konvergenz [1][2] und das Konzept des Edge Computing herauskristallisiert, welches als Paradigma und Netzwerkphilosophie darauf abzielt, Rechenkapazität so nah wie nötig an der Datenquelle zu platzieren, um neben anderen Vorteilen die Übertragungslatenz und die Bandbreitennutzung zu reduzieren. Eine anfängliche Motivation für das Edge-Computing-Paradigma war die Senkung der Betriebskosten durch Minimierung der Datenmenge, die an einem zentralen oder Cloud-basierten Standort übertragen und verarbeitet werden muss, und die Bereitstellung einer gewissen dezentralen „Offline-Fähigkeit“. Aufgrund des Anstiegs der im Rahmen des IIoT generierten Datenmenge und Datenqualitätsanforderungen wird die Technologie in der Feldebene kontinuierlich vorangetrieben.

Die Relevanz des Themas wird auch unmittelbar an der Vielzahl der in jüngerer Zeit entstandenen Organisationen deutlich, die sich mit der Definition und Implementierung von Edge-Infrastrukturlösungen befassen, in der Regel initiiert von Produkt- oder Lösungsanbietern. In [3] wurden diesbezüglich 75 Edge-Computing-bezogene Aktivitäten identifiziert. Aus den bestehenden Lösungen ist erkennbar, dass sie oft ähnlichen Konzepten folgen, jedoch nicht auf interoperable Ansätze im Sinne einer Standardisierung fokussieren.

Hervorzuheben ist die jüngste Initiative „Margo - Edge Interoperabilität für industrielle Automatisierungssysteme“ [4], welche ebenfalls standardbasierte Interoperabilität als Ziel verfolgt.

Als eine führende Testbed-Organisation hat der vorwettbewerbliche und gemeinnützige deutsche Verein „Labs Network Industrie 4.0 e.V.“ (LNI 4.0) [5] im Jahr 2018 das Testbed „Edge Configuration“ eingerichtet und später neufokussiert und in „Edge Management“ umbenannt. LNI 4.0 wurde 2015 zusammen mit der Deutschen Plattform Industrie 4.0 und dem Standardization Council Industrie 4.0 (SCI 4.0) [6] gegründet, das gemeinsam von DIN und DKE zur Unterstützung der Industrie 4.0-Standardisierungsaktivitäten getragen wird. Ein Ziel der Arbeitsergebnisse des LNI 4.0-Testbeds ist es, sicherzustellen, dass KMU (kleine und mittlere Unternehmen) einfach die Edge Technologie nutzen können, da KMU das Rückgrat der weltweiten Produktion bilden. Alle LNI 4.0 Testbeds arbeiten in einer neutralen Umgebung, die von öffentlichen Forschungsinstituten betrieben wird, und agieren vollständig vorwettbewerblich und neutral. LNI 4.0 kooperiert eng mit der „Open Industry 4.0 Alliance“ [7], einem internationalen Industriekonsortium, das Best Practices für die Anwendung von Standards für Interoperabilität entwickelt. Eines der Interessengebiete ist Edge Computing, wobei das LNI 4.0 Testbed „Edge Management“ die Standardisierung im Kontext der Interaktion zwischen der Edge-Management-, der Edge- und der Feldgeräteebene unterstützt (*Abbildung 1*). Da derzeit kein allgemein akzeptierter Standard mit diesem Fokus existiert, entwickelt das LNI 4.0 Testbed einen Vorschlag in Form eines API-Konzepts, welches eine einheitliche Zugänglichkeit von Management-Anwendungen zu einer Vielzahl heterogener Assets (d.h. Geräte, Apps, etc.)

ermöglicht. Die Ergebnisse und Erfahrungen des LNI 4.0 Testbeds werden den Standardisierungsgremien kontinuierlich zur Verfügung gestellt, um sie in die weitere Entwicklung von Standards einfließen zu lassen. In [8] berichtete das LNI 4.0 Testbed bereits über seine Aktivitäten zum Thema Edge-Konfiguration, also der Konfiguration der Interaktion zwischen Edge und der Edge-Management-Schicht, wie in Abbildung 1 dargestellt. Als Ergebnisse wurden verschiedene Aspekte der Edge-Konfiguration methodisch entwickelt, in Form eines „Business View“ [9], „Usage View“ [10], „Functional View“ und „Implementation View“.

Da bereits eine Reihe von proprietären API-Lösungen für bestehende IIoT-Gerätemanagementlösungen auf dem Markt sind, ist eine wichtige Anforderung, solche bereits existierenden APIs über ein einfaches Konzept und mit einem Minimum an Implementierungsaufwand in ein standardisiertes API-Konzept einbinden zu können, um von den Anbietern und Anwendern dieser bestehenden Lösungen akzeptiert zu werden. Dabei sollen möglichst viele bestehende offene Standards adaptiert werden. Insbesondere die API-Definition der Verwaltungsschale (AAS) [11] und die Teilmodelle DNP [12], AID [13] und AIMC [14] sollen betrachtet und genutzt werden. Im Kontext von anderen Projekten wie bspw. TwinMap [15], Catena-X [16] sowie „Verwaltungsschale für den Leitungssatz (VWS4LS)“ [17] wird ebenfalls dieser Ansatz genutzt.

Der Hauptbeitrag dieser Arbeit ist der Entwurf einer Architektur für eine API-gesteuerte Interaktion mit heterogenen Edge-Computing-Entitäten auf der Grundlage des offenen AAS-Standard (IEC 63278), insbesondere mit dem AAS Submodel-Template „Digital Nameplate“ (IEC 61406-1/-2) zur Identifikation des jeweiligen Kommunikationspartners und den AID- und AIMC-Teilmodellen zur Veröffentlichung seiner Schnittstellen.

Der Beitrag ist wie folgt gegliedert:

- In Abschnitt 2 „Hintergrund“ werden wesentliche Motivatoren für ein standardisiertes Edge-Management aufgeführt.
- Abschnitt 3 „Edge Architektur“ beschreiben die von den LNI 4.0-Testbed-Partnern entwickelte Referenzarchitektur.
- In Abschnitt 4 „Edge Management API“ wird auf der Grundlage der analysierten Konzepte verschiedener Standardisierungsorganisationen und der damit verbundenen offenen Standards die Bausteine für die Implementierung unseres Entwurfs einer API für das industrielle Edge-Management diskutiert.
- In Abschnitt 5 „LNI 4.0 Testbed Demonstrator“ wird die Implementierung des Edge-Management-Testbeds beschrieben, unter Verwendung der vorgeschlagenen Modelle und API-Konzepte mit einem Anwendungsfall für die herstellerübergreifende Verwaltung und Interaktion von Edge-Assets.
- Der Abschnitt 6 „Fazit und Ausblick“ schließt die Arbeit mit offenen Fragen und Vorschlägen zur weiteren Entwicklung der Edge-Interoperabilitätskonzepte ab.

2 Hintergrund

Neben den bereits in der Einleitung genannten technischen Vorteilen des Edge-Paradigmas, sind wesentliche Treiber für ein standardisiertes Edge Management im Kontext von Automatisierungstechnik und Industrie 4.0 vor allem Anwendungsfälle wie:

- Fertigungsaktivitäten sollen für eine effektive Interoperabilität nach außen hin transparent sein.
- Informationen über Modelle von Fertigungsaktivitäten und Artefakten (Assets) sollen digital dargestellt und über Informationsinfrastrukturen ausgetauscht werden können.
- Um eine intelligente Fertigung zu ermöglichen, sollen Technologien systematisch integriert werden können.
- Artefakte, die in der Fertigungsindustrie entstehen, sollen in verschiedenen Bereichen über den gesamten Lebenszyklus genutzt werden können.
- Bewertung der Nachhaltigkeit durch Erfassung des Umwelteinflusses, der durch Artefakte und Produktionstätigkeiten verursacht wird. Zu diesem Zweck ist die Einbeziehung von Umweltaspekten in die Modelle notwendig, welche in den herkömmlichen Produkt- und Prozessmodellen nicht hinreichend abgebildet werden. Die Berechnung des CO₂-Fußabdrucks eines Produkts erfordert beispielsweise Informationen über die Menge der CO₂-Emissionen, die mit den verwendeten Materialien dem Herstellungsprozess, dem aktuellen Betriebszustand, der Betriebsumgebung usw. zusammenhängen. Diese

Beziehung zwischen CO2-Emissionen und Herstellungs- sowie Einsatzbedingungen muss gepflegt und transparent bereitgestellt werden.

3 Edge Architektur

Das LNI 4.0-Testbeds „Edge Management“ hat für seine Arbeit eine mehrschichtigen Architektur definiert, wie in *Abbildung 1* dargestellt.

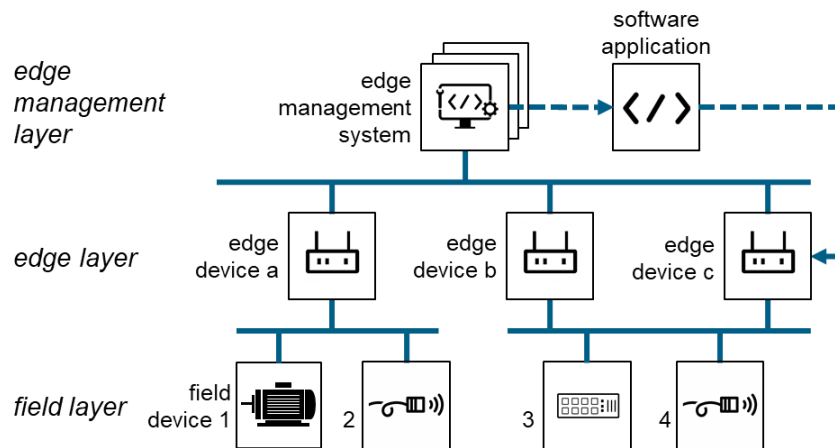


Abbildung 1: Architekturmodell [9],[10]

Dabei lassen sich die folgenden grundlegenden Systemeinheiten identifizieren:

Feldgeräte sind physische Datenverarbeitungsressourcen mit oft deterministischen Kommunikationsfähigkeiten. Feldgeräte kommunizieren mit Edge-Geräten, können über Parameter konfiguriert werden und die Firmware eines Feldgeräts kann aktualisiert werden. Feldgeräte unterstützen nicht die Bereitstellung von Anwendungen.

Edge-Geräte sind physische Rechenressourcen mit Kommunikationsfähigkeiten und Edge-Laufzeiten, die auf dem Edge-Gerät eingesetzt werden können. Edge-Geräte können auch durch Parameter konfiguriert werden und die Firmware von Edge-Geräten kann aktualisiert werden. Edge-Geräte können mit Feldgeräten verbunden werden, und für jedes verbundene Feldgerät gibt es einen Datenendpunkt, der die Kommunikationsmöglichkeiten zwischen Feld- und Edge-Gerät darstellt. Diese Datenendpunkte können von einem Edge-Management-System konfiguriert werden.

Ein **Edge-Management-System** ist ein Softwareprogramm, das in einer IT-Infrastruktur eingesetzt wird. Ein Edge-Management-System kann Konfigurationsfunktionen für Feldgeräte und Edge-Geräte, einen Anwendungsspeicher zur Bereitstellung von Softwareanwendungen, Edge-Laufzeiten und Firmware sowie Konfigurations- und Bereitstellungsfunktionen bieten, die über den Anwendungsspeicher des Edge-Management-Systems bereitgestellt werden.

Software-Applikationen sind ausführbare Software-Programme, die auf einer Edge-Laufzeitumgebung oder einer IT-Infrastruktur bereitgestellt, ausgeführt und konfiguriert werden können. Die Software-Programme werden über den Anwendungsspeicher eines Edge-Management-Systems bereitgestellt. Diese Softwareanwendungen nutzen in der Regel die Informationen von angeschlossenen Feldgeräten, z. B. zur Datenanalyse. Grundlegende Anwendungen für den allgemeinen Gebrauch sind z.B. Asset Management [18] und Systemüberwachung [19].

4 Edge Management API

4.1 Grundlegende Dienste

In diesem Abschnitt werden kurz einige grundlegende Funktionen eines Edge-Management-Systems beschrieben, die im Wesentlichen **IT Asset Management (ITAM)** [20] Funktionalität abdeckt, um die Überwachung und Verwaltung von Hardware-Geräten, Software, Lizenzen, Zugriffsrechten usw. innerhalb des betrachteten IT/OT-Systems zu ermöglichen.

Detection & Discovery befasst sich mit Funktionen, die Informationen über neue oder geänderte Hardware- und Software-Entitäten liefern.

Verwaltung von Zugriffsrechten ist notwendig zum Schutz vor unberechtigtem Zugriff auf Konfigurationsfunktionen, die auf Daten oder Parameter zugreifen. Diese Funktionen bieten eine Grundlage für die Zuweisung und Kontrolle von Zugriffsrechten für bestimmte Benutzer mit bestimmten Rollen.

Konfigurationsfunktionen ermöglichen die Manipulation eines Systems in einer Weise, damit es einen von externen Rollen vorgegebenen Zweck erfüllt, und das System dadurch zweckorientiert genutzt werden kann.

Parametrisierung umfasst Änderungen an jeder Art von Arbeitsparameter, um die Funktion der Entität zu verändern. Dies kann Kommunikationsparameter wie IP-Adressen einschließen.

Integritätsüberwachung ist verantwortlich für die Erkennung von Fehlfunktionen oder um unvorhergesehene äußere Einflüsse zu erkennen und zu signalisieren, die Auswirkungen auf das System haben können. Geeignete Ereignisbehandlungs-Verfahren müssen bei solchen möglicherweise problematischen Ereignissen ausgelöst werden.

4.2 IIoT-Protokollstandards

In industriellen IoT- und Machine-to-Machine (M2M) - Kommunikationsanwendungen sind OPC UA [21] sowie REST-basierte Schnittstellen [22] weit verbreitet. Eine REST-API definiert Endpunkte, die zur Adressierung der Interaktionen dienen. Die aufkommende AAS-Technologie definiert ebenfalls eine REST-Schnittstelle und einige ihrer Submodell-Definitionen beziehen sich auf „Web of Things (WoT)“-Architekturkonzepte, die vom „World Wide Web Consortium“, (W3C) für die Interoperabilität verschiedener IoT-Plattformen und Anwendungsdomänen definiert wurden. Das Kernstück ist dabei die „Thing Description (TD)“ [23], ein standardisiertes, maschinenlesbares Metadaten-Repräsentationsformat für die Entdeckung und Interpretation der Fähigkeiten eines „Thing“ durch semantische Annotationen und HATEOAS [24] basierte Verknüpfungsmechanismen. In [25] wird gezeigt, wie dies die Interoperabilität über verschiedene IoT-Plattformen, Ökosysteme und Standards hinweg unterstützt.

„umati“ [26] kann als eine führende Initiative genannt werden, die OPC UA in herstellerübergreifenden Anwendungsszenarien einsetzt.

Bezeichnenderweise hat auch die OPC Foundation eine Arbeitsgruppe angekündigt, die OPC UA um ein standardisiertes REST-Interface erweitern soll [27].

Es ist hierbei erwähnenswert, dass der OPC UA Standard in der Companion Specification „OPC 30270 Industry 4.0 Asset Administration Shell“ [28] bereits die Kommunikation von Asset-Informationen definiert. In einer kürzlich erschienenen Veröffentlichung [29] wurden die Kommunikationsfähigkeiten erörtert und Anwendungsszenarien für AAS-Typ-2-Implementierungen empfohlen.

4.3 Die Asset Administration Shell

Im Wesentlichen ermöglicht der AAS-Standard der Industrial Digital Twin Association (IDTA) die standardisierte und interoperable Darstellung des digitalen Zwillings von Hardware- und Software-Assets in industriellen Anwendungen. Eine AAS enthält u.a. Informationen über die Identifikationsdaten, den Lebenszyklus, die Funktionalitäten und die Betriebsdaten eines Assets. Im Kontext der RAMI4.0-Architektur [30] realisiert die AAS die sog. „I4.0-Komponente“. Die IDTA definiert auch Mechanismen für den Austausch von AAS entlang der Wertschöpfungskette und implementiert die Kommunikation zwischen I4.0-Komponenten.

Eine AAS-Struktur (Abbildung 2) besteht aus einem Header-Teil, der Informationen zur Identifikation des AAS und seines Assets enthält, und einem Body-Teil, der alle anderen Eigenschaften und Funktionen in Bezug auf das Asset enthält. Bei den Eigenschaften handelt es sich um Schlüssel-Wert-Paare, die die Merkmale der Ressource beschreiben, während die Funktionen ihre Fähigkeiten und Operationen beschreiben. Die Eigenschaften und Funktionen werden in standardisierten Teilmodellen gruppiert, um den Austausch relevanter Asset-Informationen in den übergreifenden Prozessen oder zwischen den Assets zu ermöglichen.

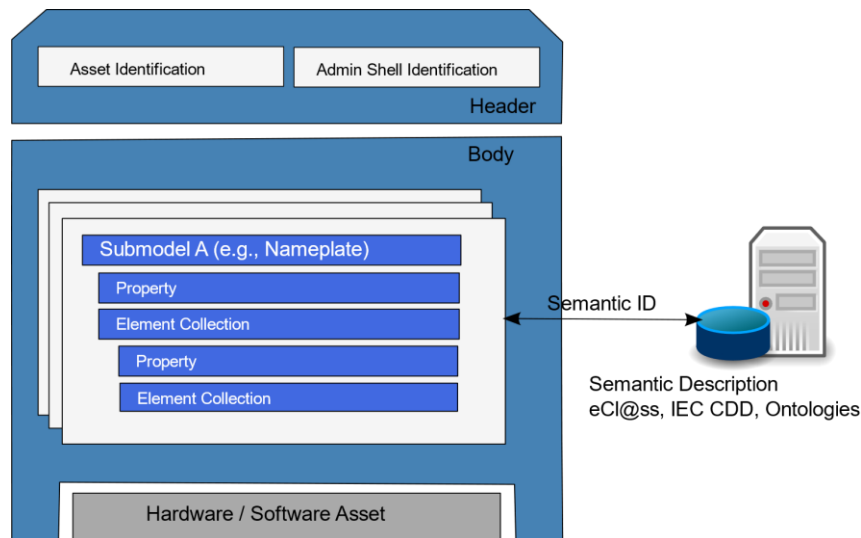


Abbildung 2: AAS-Struktur

Typische Beispiele für Teilmodelle sind Digitales Typenschild, Carbon Footprint, und Übergabedokumentation. Im Folgenden beschreiben wir kurz die Teilmodelle, die in unserer Testumgebung für die herstellerübergreifende Interoperabilität im Industrial Edge eingesetzt werden:

Das Teilmodell **Digital Nameplate (DNP)** [12] bietet eine Vorlage zur Beschreibung von Asset-Nameplate-Informationen in der zugehörigen AAS. Die Asset-Informationen werden als Eigenschaften dargestellt, die auf der Grundlage von ECLASS- oder IEC Common Data Dictionary (CDD)-Wörterbüchern kategorisiert werden. Jede Eigenschaft im DNP hat dadurch eine semantische ID, die einen eindeutigen Austausch von Typenschildinformationen zwischen verschiedenen Partnern in der Wertschöpfungskette ermöglicht.

Das Teilmodell **Asset Interface Description (AID)** [13] spezifiziert ein Informationsmodell zur Beschreibung von Schnittstellen, die die Interaktion mit einem Asset-Dienst oder Asset-bezogenen Diensten ermöglichen. Dabei definiert AID die Datenendpunkte, um Daten vom Asset anzufordern oder Operationen des Assets auszulösen. Die W3C-TD-Struktur und Protokollbindungen wurden in die AID-Kernstruktur übernommen. Zusätzlich zu den Schnittstellenprotokollen können auch externe Deskriptoren eingebunden werden, z.B. GSD, GSDML, IO Device Description, WoT-TD, etc. In der Version 1 unterstützt AID vor allem die standardisierte Beschreibung von Schnittstellen auf der Basis der Modbus-, HTTP- und MQTT-Protokolle, in der zukünftigen Version soll auch das OPC-UA-Protokoll abgedeckt werden.

Das Teilmodell **Asset Interfaces Mapping Configuration (AIMC)** [14] ergänzt AID, indem es die Synchronisierung der über die beschriebenen Schnittstellen abgerufenen Daten mit einem bestimmten Ort innerhalb des AAS unterstützt. Dies geschieht durch die „MappingSourceSinkRelation“-Beschreibung in AIMC, die als Quelle einen im AID-Teilmodell definierten Asset-Datenpunkt mit einer Ziel-Property in einem beliebigen AAS-Teilmodell verknüpft.

AID und AIMC sind das geeignete Mittel für die generische Anbindung eines Assets an eine AAS, da sowohl die Metainformationen zu den jeweiligen Kommunikationstechnologien als auch die Endpunkte der Assetsignale abgebildet werden können. Eine diesbezügliche Anwendung wurde auch bereits beschrieben in [31]

5 LNI 4.0 Testbed Demonstrator

Der LNI 4.0 Edge Management Demonstrator zeigt eine prototypische vorwettbewerbliche Umsetzung. Die beteiligten industriellen KMU sowie Großunternehmen lösen gemeinsam die notwendigen Schritte für ein standardisiertes Edge Management, beginnend mit dem Onboarding von Edge-Geräten in ein Edge-Management-System. Die einheitliche Verwendung des Teilmodell „Digital Namplate“ (AAS DNP) durch die Geräte ermöglicht nicht nur deren gegenseitige Identifizierbarkeit, sondern auch die Versorgung mit weiteren Informationen. Verwaltungsschalenkonzepte wie die Asset Modellierung und der Datenaustausch über eine definierte API werden genutzt.

5.1 Architektur des Edge Management Testbed

Die Architektur wurde entworfen basierend auf den in Abschnitt 3 vorgestellten Edge Konzept. Dabei wurden auch Anforderungen von sog. „Brownfield“-Systemen berücksichtigt, die durch proprietäre Kommunikationsprotokolle angebunden werden müssen (Abbildung 3).

Die generischen Schnittstellen zwischen den Edge-Management- und Edge-Ebene werden mittels einer AAS-Infrastruktur realisiert. Informationen aus den Edge-Geräten der verschiedenen Hersteller werden in entsprechenden Verwaltungsschalen aktualisiert über die REST API der AAS. Ein herstellerübergreifende Edge-Management-System kann so auf die Geräteinformationen zugreifen. Umgekehrt können Konfigurationen oder Befehle an die Geräte kommuniziert werden.

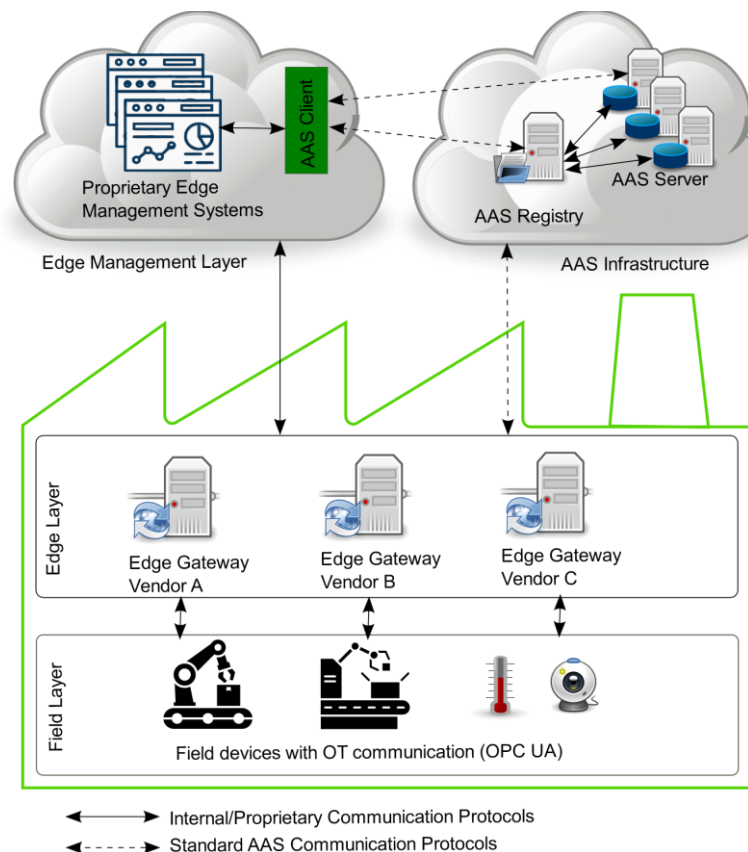


Abbildung 3: Architektur des Testbeds

5.2 Demonstration: Szenario und Umsetzung

Das Edge Management Szenario demonstriert die herstellerübergreifende Bereitstellung von Informationen von Edge-Geräten über Edge-Systeme verschiedener Hersteller. Abbildung 4 zeigt zwei Szenarien des Edge-

Management: Aktualisierung und Konfiguration von Edge-Gerät IP Adresse. Andere Informationen, z.B., Aktordaten, können in gleichartigen Szenarien angewendet werden.

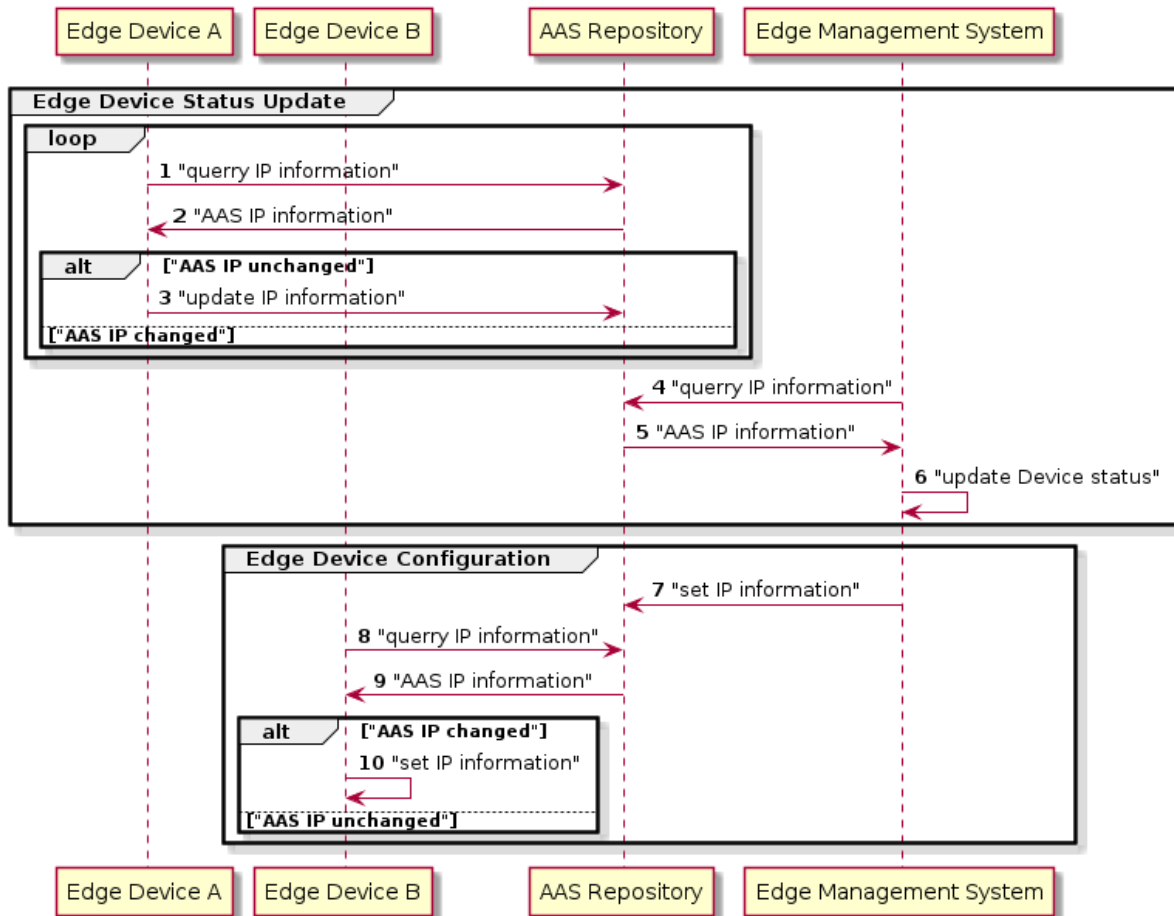


Abbildung 4: Kommunikations-Sequenzen für die Aktualisierung und Konfiguration von Edge-Geräten

In Abbildung 4 sind folgende Szenarien abgebildet:

1. **IP-Konfiguration durch das Edge-Gerät:** Im Falle des Edge-Geräts A fragt dieses seine Verwaltungsschale im AAS Repository (d.h. den Digitalen Zwilling) nach seiner abgebildeten IP-Information (1). Falls die IP in der Verwaltungsschale abweicht, wird die lokale IP als aktueller angenommen und soll auch in der VWS aktualisiert werden (3). Nach der Aktualisierung fragt das EMS bei dem AAS Repository nach der IP des Geräts (4) und aktualisiert entsprechend die auf der GUI angezeigten Gerätdaten (6).
2. **IP-Konfiguration durch das EMS:** Im Falle des Edge-Gerät B wird die gewünschte IP durch den User über das EMS gesetzt und in der VWS gespeichert. Durch die periodische Synchronisation zwischen dem Edge-Gerät und dem AAS Repository (8) erkennt das Edge-Gerät, dass eine neuere IP in der VWS vorhanden ist und seine lokale IP entsprechend setzen (10).

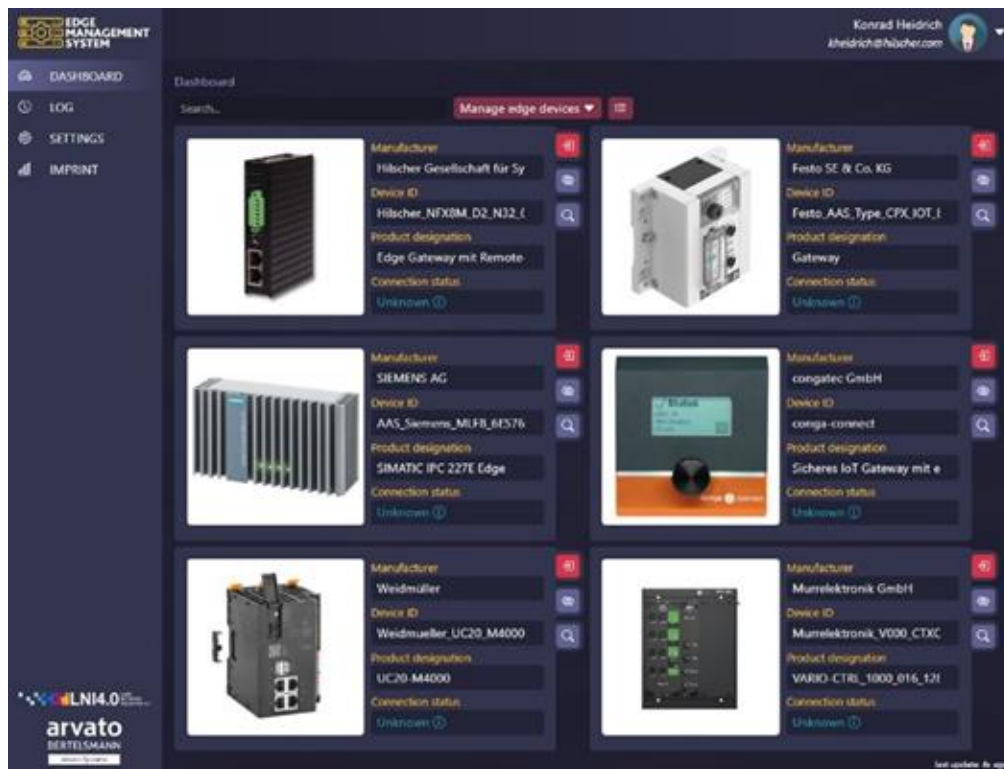


Abbildung 5: Prototypisches LNI 4.0 Dashboard

Der LNI 4.0 Edge Management Demonstrator zeigt insbesondere die herstellerübergreifende Bereitstellung von Informationen von Edge-Geräten über Edge-Systeme verschiedener Hersteller. Insgesamt sind 12 namhafte Industrieautomatisierungsunternehmen im Demonstrator aktiv (Abbildung 6).



Abbildung 6: Testbed-Mitglieder

Der aktuelle Stand der Umsetzung im Demonstrator basiert auf der Verwaltungsschale, also der standardisierten Asset-Modellierung und den Austausch von Informationen über eine definierte API, zudem werden die Edge-Device-Informationen einheitlich in einer generischen Benutzeroberfläche (UI) dargestellt (Abbildung 5). Diese beinhaltet u.a.:

- IP-Adresse und andere Informationen zur Netzwerkkonfiguration
- Zustandsinformationen der verschiedenen Geräte wie z.B. Temperaturen der Elektronik, die Auslastung der Recheneinheit oder die Verfügbarkeit des Speichers auf Basis von AAS-Teilmodellen.

Die Implementierung basiert auf dem AAS-Server von IDTA-Version 3 und wird kontinuierlich weiterentwickelt. Ein Open-Edge-Device-Builder-Kit, das die Software Containerisierung mittels Docker-Technologie nutzt, wurde entwickelt, um die Kommunikation über Herstellergrenzen hinweg so aufwandsarm wie möglich bereitzustellen.

Zusätzlich wird die direkte Kommunikation über einen Message-Broker mit den integrierten Fähigkeiten der Edge-Geräte demonstriert.

Das System wird dauerhaft in der IT-Umgebung eines LNI 4.0 Mitglieds zur Verfügung gestellt, so dass der Demonstrator und die Edge Technologien ständig gewartet und optimiert werden können.

6 Fazit & Ausblick

Der LNI 4.0 Edge Management Demonstrator unterstützt die Vision, dass vollständige Interoperabilität für Geräte, Software-Onboarding, Softwarebereitstellung und Anwendungsconfiguration durch eine gemeinsame standardisierte Schnittstelle möglich ist.

Diese herstellerübergreifende Interoperabilität basierend auf dem AAS-Standard und den zugehörigen AAS Submodel-Templates kann die Hindernisse für Investitionsentscheidungen auf dem Markt beseitigen, da die Kunden sicher sein können, dass ihre installierte Gerätebasis auch in der Zukunft weiter interoperabel bleiben wird.

Der gezeigte Demonstrator bildet den Kern der LNI 4.0 Testbed-Aktivitäten und wird kontinuierlich weiterentwickelt, getestet und die Ergebnisse von LNI 4.0 kontinuierlich veröffentlicht werden.

7 Literaturverzeichnis

- [1] D. Lewandowski, D. Pareschi, W. Pakos, and E. Ragaini, „Future of IoTSP – IT and OT Integration”, in *2018 IEEE 6th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*, Barcelona, Spain, Aug. 2018, pp. 203–207
- [2] M. Felser, M. Rentschler, and O. Kleineberg, „Coexistence Standardization of Operation Technology and Information Technology,” *Proc. IEEE*, vol. 107, no. 6, pp. 962–976, Jun. 2019
- [3] A. Hamm, A. Willner, and I. Schieferdecker, „Edge Computing: A Comprehensive Survey of Current Initiatives and a Roadmap for a Sustainable Edge Computing Development,” 2019, doi: 10.48550/ARXIV.1912.08530.
- [4] The Linux Foundation, „Margo - Edge interoperability for industrial automation ecosystems,” 2024, <https://margo.org/>
- [5] German association „Labs Network Industrie 4.0”, <https://lni40.de>
- [6] German organization „SCI 4.0”, <https://www.sci40.com>
- [7] Swiss association „Open Industry 4.0 Alliance”, <https://openindustry4.com/news-und-presse/open-industry-40-alliance-and-labs-network-industrie-40-work-together-for-digital-transformation/>
- [8] M. Rentschler, D. Rohrmus, U. Löwen, A. G. Gatterburg, B. Vojanec, A. Willner, „Standardization of Edge Configuration”, 2020 25th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA 2020): 1147-1150.
- [9] “LNI Testbed Edge Management – Business View”, Labs Network Industrie 4.0 e.V., 2019, https://dev2.lni40.de/lni40-content/uploads/2021/03/BusinessView-LNI_Testbed-Edge-Management_V2.0.pdf
- [10] “LNI Testbed Edge Management – Usage View”, Labs Network Industrie 4.0 e.V., 2020, https://lni40.de/wp-content/uploads/2023/02/UsageView-TestbedEdgeConfiguration_publish-10032020.pdf
- [11] Industrial Digital Twin Association, „Specification of the Asset Administration Shell Part 2: Application Programming Interfaces – IDTA 01002-3-0”, https://industrialdigitaltwin.org/wp-content/uploads/2023/06/IDTA-01002-3-0_SpecificationAssetAdministrationShell_Part2_API_.pdf
- [12] Industrial Digital Twin Association, „IDTA 02006 – Digital Nameplate for Industrial Equipment”, 2022, <https://github.com/admin-shell-io/submodel-templates/tree/main/published/Digital%20nameplate/2/0>
- [13] Industrial Digital Twin Association, „IDTA 02017 – Asset Interfaces Description”, 2024, <https://github.com/admin-shell-io/submodel-templates/tree/main/published/Asset%20Interfaces%20Description/1/0>
- [14] Industrial Digital Twin Association, „IDTA 02027 – Asset Interfaces Mapping Configuration”, 2024, <https://github.com/admin-shell-io/submodel-templates/tree/main/published/Asset%20Interfaces%20Mapping%20Configuration/1/0>
- [15] „TwinMaP - Digitalisierung für eine branchenübergreifende Vernetzung”, <https://twinmap.de/>

- [16] „Digital Twins in Catena-X”, Catena-X-Standard CX-0002, <https://catenax-ev.github.io/docs/standards/CX-0002-DigitalTwinsInCatenaX>
- [17] „VWS4LS - Verwaltungsschale für den Leitungssatz”, ARENA2036 e.V., <https://arena2036.de/de/vws4ls>
- [18] M. Wang, J. Tan, Y. Li, „Design and implementation of enterprise asset management system based on IOT technology,” in *IEEE International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN)*, Chengdu: IEEE, Jun. 2015, pp. 384–388.
- [19] M. D. Unde, Prasad. S. Kurhe, „Web based control and data acquisition system for industrial application monitoring,” in *International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)*, Chennai: IEEE, Aug. 2017, pp. 246–249.
- [20] ISO/IEC 19770 Standard series, ITAM, <https://www.itam.org/itam-best-practices-standard/>
- [21] M. Ghazivakili, C. Demartini, C. Zunino, „Industrial data-collector by enabling OPC-UA standard for Industry 4.0,” in *14th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS)*, Imperia, Italy: IEEE, Jun. 2018, pp. 1–8.
- [22] R. T. Fielding, „Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures,” University of California, Irvine, 2000. <https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm>
- [23] „Web of Things (WoT) Thing Description 1.1”, W3C Editor's Draft, <https://w3c.github.io/wot-thing-description/>
- [24] F. Aydemir and F. Basciftci, „Application of HATEOAS Principle in RESTful API Design,” 2022 IEEE 22nd International Symposium on Computational Intelligence and Informatics and 8th IEEE International Conference on Recent Achievements in Mechatronics, Automation, Computer Science and Robotics (CINTI-MACRo)
- [25] H. K. Pakala, Kazeem. O. Oladipupo, S. Käbisch, C. Diedrich, „Integration of asset administration shell and Web of Things,” KommA 2021, <http://dx.doi.org/10.25673/39570>
- [26] German association „Universal machine technology interface”, <https://umati.org>, <https://www.umati.app/>
- [27] OPC Foundation, „OPC UA REST Subgroup Launched“, <https://opcconnect.opcfoundation.org/2023/03/opc-ua-rest-subgroup-launched/>
- [28] OPC Foundation, „OPC 30270 Industry 4.0 Asset Administration Shell”, <https://opcfoundation.org/developer-tools/documents/view/273>
- [29] R. Drath *et al.*, „Diskussionspapier - Interoperabilität mit der Verwaltungsschale, OPC UA und AutomationML”, <https://www.automationml.org/about-automationml/publications/discussionpaper-2023/>
- [30] Schweichhart, Karsten, „Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0).” Apr. 2016.
- [31] A. Schließmann, M. Stolze, M. Riedl, T. Schroeder, „Standardisierte Maschinenanbindung an ein Produktionsleitsystem über die Asset Administration Shell”, KommA 2023, <http://dx.doi.org/10.25673/111742>