Diskussionspapier – Interoperabilität mit der Verwaltungsschale, OPC UA und AutomationML

Zielbild und Handlungsempfehlungen für industrielle Interoperabilität

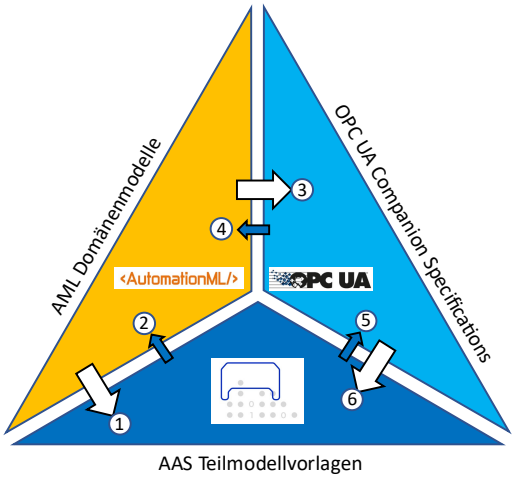
Dieses Diskussionspapier wird getragen von: Vereine/Verbände AutomationML e.V., IDTA, OPC Foundation, VDMA, sowie Experten aus den Unternehmen Microsoft, KUKA, Siemens

Autoren: Rainer Drath (AutomationML e.V.), Christian Mosch (IDTA), Stefan Hoppe (OPC Foundation), Andreas Faath (VDMA), Erich Barnstedt (Microsoft), Bernd Fiebiger (KUKA), Wolfgang Schlögl (Siemens)

Kurzfassung

Unternehmen sind auf der Suche nach Lösungen für die Umsetzung von Industrie 4.0. Aus Sicht der Verbände sind hierbei proprietäre und geschlossene Interoperabilitätslösungen langfristig kaum zukunftsfähig. Insbesondere die Verwaltungsschale (Asset Administration Shell - AAS), OPC UA mit ihren zugehörigen Informationsmodellen (OPC UA Companion Specifications) sowie AutomationML gelten als Industrie 4.0-Schlüsseltechnologien und werden von der Plattform Industrie 4.0 empfohlen. Diese drei Technologien bieten umfassende Konzepte für eine vereinheitlichte digitale Interoperabilität zwischen Industrie 4.0-fähigen Maschinen und Systemen während ihres gesamten Lebenszyklus. Doch konkurrieren sie miteinander oder können sie gemeinsam Interoperabilität schaffen? Dieses Diskussionspapier haben die Verbände AutomationML e.V., Industrial Digital Twin Association (IDTA), OPC Foundation und VDMA. gemeinsam entwickelt, um Orientierung und Handlungsempfehlungen zu geben. Es richtet sich an Entscheider, Strategen und Experten in Unternehmen, die das Ziel verfolgen, die eigenen Wertschöpfungssysteme im Sinne von Industrie 4.0 zukunftsfähig zu gestalten. Es beschreibt ein Zielbild bzw. ein „Big Picture Interoperabilität“, das zeigt, wie die genannten Technologien zusammenpassen, sich gegenseitig ergänzen und wie Interoperabilität über Domänen hinweg durch kombinierte Anwendung in der Industrieautomation erreicht wird. Ergänzend richtet das Diskussionspapier konkrete Handlungsempfehlungen an Entwickler und Anwender von interoperablen Systemlösungen und gibt Orientierung zur Nutzung der genannten Technologien.

Die Verbände und Organisationen in diesem Diskussionspapiers bekunden ihren Willen zur Kooperation, um im Sinne Ihrer Mitglieder und der gesamten Industrie Doppelstandardisierung zu vermeiden. Die Verbände, Forschung und Industrie sind eingeladen, das hier vorgestellte „Big Picture Interoperabilität“ weiter zu verfeinern und zu verbessern.



AAS, AML und OPC UA erreichen gemeinsam Interoperabilität und ergänzen sich gegenseitig

1 Einführung

1.1 Einleitung und Motivation

Industrie 4.0 verfolgt die Einführung von Internettechnologien in die Industrie mit dem Ziel, durch Vernetzung und Digitalisierung neue Wertschöpfungspotentiale zu erschließen. Industrielle Assets wie Komponenten (z. B. Maschinen oder Pumpen) und Systeme (z. B. Fertigungszellen und -linien) sind oft noch weit von dem entfernt, was einfache Tintenstrahldrucker längst bieten: Plug & Play von der Anlieferung bis zum Betrieb. Während die aus dem Büroalltag bekannte IT mit Technologien wie Ethernet, USB und Treiberarchitekturen bereits universelle und herstellerübergreifende Kommunikationsstandards und Interoperabilitätslösungen besitzt, sind solche Lösungen in der Industrie bisher kaum verbreitet. Stattdessen haben sich in der Industrie für verschiedene Anwendungsfälle vielfältige proprietäre, aber auch standardisierte Lösungen etabliert. Wirkliche Interoperabilität in der Industrie erfordert für Assets und Systeme aber eine tiefe Softwareintegration in mehrere Stoßrichtungen. RAMI4.0 zeigt diese in einem dreidimensionalen Würfel auf, siehe 1.2.

Zu den standardisierten Interoperabilitätslösungen gehören OPC UA und ihre Informationsmodelle, AutomationML und seine Whitepaper und Application Recommendations und die Verwaltungsschale. Dieses Diskussionspapier zeigt in einem Zielbild, wie diese Technologien zusammen eine moderne gemeinsame Interoperabilitätslandschaft schaffen.

Das vorliegende Papier ist wie folgt gegliedert: Kapitel 1 erläutert zunächst den Begriff Interoperabilität und die Zielstellung dieses Papiers. Kapitel 2 erläutert RAMI4.0 und stellt die wesentlichen Aufgaben und Funktionen der Interoperabilitätstechnologien AAS, OPC UA und AutomationML vor. Kapitel 3 erläutert schrittweise, wie sich die genannten Technologien zu einem Gesamtbild zusammenfügen. Kapitel 4 gibt abschließend konkrete Handlungsempfehlungen für ihre Verwendung.

1.2 Einordnung: was ist Interoperabilität?

Interoperabilität bezeichnet die Fähigkeit von Systemen, Geräten und Anwendungen, sich herstellerübergreifend zu verbinden und zielgerichtet zu kommunizieren, einschließlich OT (Operational Technology) und IT (Information Technology). Die Interoperabilität umfasst dabei die Dimensionen des Referenz-Architektur-Modells-Industrie-4.0 – RAMI4.0[1]: a) alle Hierarchieebenen der Automatisierungstechnik (Hierarchy Levels), b) den Entstehungsprozess von Assets und Systemen (Value Stream) als auch c) die Schichten eines Unternehmens (Layers), siehe Abbildung 1.

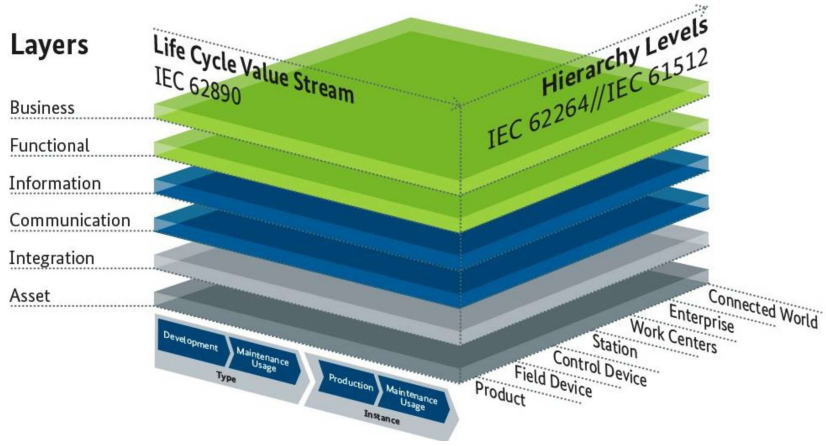


Abbildung 1: RAMI4.0 Architekturmodell nach IEC PAS 63088 and DIN SPEC 91345

[1] DIN SPEC 91345: 2016-04: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0), 04/2016.

IEC PAS 63088:2017: Smart manufacturing - Reference architecture model industry 4.0 (RAMI4.0)

Damit eine solche Interoperabilität gelingt, müssen alle relevanten Assets und Dienste standardisierte Datenmodelle (mittels AAS Teilmodell-Vorlagen, AutomationML und OPC UA Companion Specifications) beinhalten und diese über standardisierte Schnittstellen wie OPC UA zugänglich gemacht werden. Die Verwaltungsschale ist in diesem Sinne als digitale Lebenszyklusakte zu verstehen, auf die alle autorisierten Interessenten vom Vertrieb bis zum Service firmenübergreifend Zugriff haben.

Doch wenn AAS Teilmodelle, AutomationML und OPC UA Companion Specifications dieselbe Aufgabe verfolgen, harmonisierte und standardisierte Informationsmodelle für die Industrie bereitzustellen, konkurrieren sie dann nicht miteinander, und besteht dann nicht die Gefahr von Doppelmodellierung und Doppelstandardisierung? Entstehen dann nicht mehrfache digitale Modelle, die ihrerseits doppelte Datenhaltung und Softwareentwicklung erfordern, und damit eine harmonisierte und effiziente digitale Wertschöpfungskette behindern? Genau diese Überlegungen sind Motivation für das vorliegende Diskussionspapier.

Aus dieser Argumentation wird zudem deutlich: vielfältige proprietäre und geschlossene Interoperabilitätslösungen sind in der Industrie verbreitet, aber langfristig nicht zukunftsfähig. Aus diesem Grund sind die Organisationen AutomationML e.V., die IDTA, die OPC Foundation und der VDMA überzeugt, dass vorrangig standardisierte Interoperabilitätstechnologien in der Lage sind, die beschriebenen Herausforderungen effizient zu bewältigen.

1.3 Zielstellung dieses Diskussionspapiers: Interoperabilität auf verschiedenen Ebenen

Ziel dieses Diskussionspapiers ist es zu zeigen, wie Interoperabilität und die Verteilung und Bewirtschaftung komplexer Informationen durch das Zusammenwirken der standardisierten und bewährten Technologien AAS, OPC UA und AutomationML sowie ihrer Schnittstellen gelingt, so dass sie nicht miteinander konkurrieren, sondern sich gegenseitig ergänzen und stärken. Dazu werden die genannten Interoperabilitätslösungen im ersten Schritt erläutert. Anschließend wird schrittweise ein Zielbild aufgebaut, welches das Zusammenspiel von Informationen und Interoperabilitätslösungen in einem künftigen Industrie 4.0 Ökosystem erklärt und die einzelnen Elemente der Interoperabilität und die Integration etablierter Interoperabilitätslösungen erläutert.

Die genannten Technologien und abgeleitete Handlungsempfehlungen sind dabei nicht als Technologie-Vorschrift zu verstehen, sondern zeigen ein Zielbild der beteiligten Verbände, wie die konkreten Technologien AAS, OPC UA und AutomationML Interoperabilität schaffen und sich gegenseitig ergänzen. Die grundlegende Argumentation schließt auch andere hier ungenannte Technologien ein.

2 Etablierte Interoperabilitätslösungen

In der Industrie sind eine Vielzahl bewährter Interoperabilitätslösungen für spezielle Anwendungsgebiete (Domänen) verfügbar und etabliert. Viele an diesem Diskussionspapier beteiligte Unternehmen sind gleichzeitig Mitglied in mehreren der obigen Organisationen und weisen eine langjährige Erfahrung in der Standardisierung bzw. Normung und Zertifizierung etablierter Technologien auf. Eine zentrale Anforderung ist es, dass diese ineinandergreifen. Diese werden im Folgenden vorgestellt.

2.1 Gesamtübersicht RAMI4.0

Ein wichtiges Argument für das Zusammenspiel von AAS, OPC UA und AutomationML wird deutlich, wenn sie im Referenz-Architektur-Modell RAMI4.0[1] der Plattform Industrie 4.0 positioniert werden. Die X-Achse beschreibt hier den Lebenszyklus der zu beschreibenden Assets, die Y-Achse beschreibt die Kommunikationsinhalte der Assets und die Z-Achse beschreibt die Hierarchieebenen der Netzwerke nach „ISA95“ (siehe Abbildung 2), in denen Asset-Daten kommuniziert werden.

[1] RAMI 4.0: IEC PAS 63088
https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/rami40-eine-einfuehrung.pdf

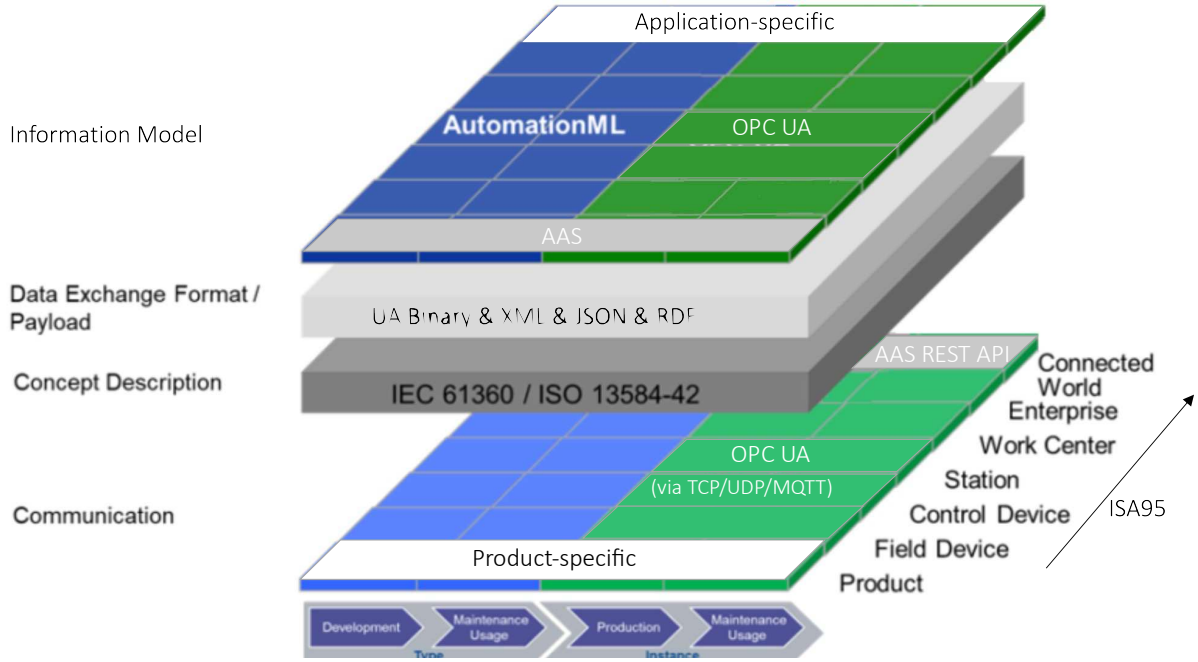


Abbildung 2: Offene Standards im RAMI4.0

In RAMI4.0 werden folgende offene Standards zur Nutzung benannt:

1. Für den Lebenszyklus *Asset-Entwicklung* sowie *Planung* des produktiven Einsatzes des Assets samt allen Inhalten und für die Kommunikation in allen Netzwerken (bis auf „Connected World“) empfiehlt RAMI4.0 **AutomationML**.
2. Für den Lebenszyklus *Produktiver Einsatz* sowie *Wartung* des Assets samt allen Inhalten (z. B. Betriebsdaten) und für die Kommunikation in allen Netzwerken (bis auf „Connected World“) empfiehlt RAMI 4.0 **OPC UA**.
3. Über alle Lebenszyklen hinweg wird für die Kommunikation in dem Netzwerk „Connected World“ samt allen Inhalten, die dem hergestellten Produkt zugeordnet werden können (z. B. digitales Typenschild oder CO2-Fußabdruck) die **Verwaltungsschale** (AAS) empfohlen.

Bei dem Netzwerk „Connected World“ handelt es sich um die Wertschöpfungskette des Herstellers sowie dem Netzwerk, von dem aus Kunden des Herstellers Zugang zu Produktinformationen haben, also meistens das Internet.

RAMI4.0 geht nicht in die Detailtiefe, zwischen den verschiedenen Ausprägungen von OPC UA (Client/Server, PubSub mittels MQTT, HTTP, UADP) zu unterschieden. Es ist aber trotzdem sinnvoll, dies in diesem Papier zur besseren Verständlichkeit zu tun:

1. Das Netzwerk „Produkt“ beschreibt die Schnittstelle des hergestellten Assets selbst, die immer produkt-spezifisch ist. Handelt es sich bei dem Produkt jedoch um eine Maschine, wird eine OPC UA Server-Schnittstelle empfohlen.
2. Für das Netzwerk „Field Device“ wird OPC UA Field eXchange – UAFX) empfohlen.
3. Für das Netzwerk „Control Device“, „Station“ und „Work Center“ wird OPC UA mit der Client/Server-Architektur empfohlen.
4. Für das Netzwerk „Enterprise“ wird OPC UA PubSub über MQTT empfohlen. In vielen Unternehmen ist das Netzwerk „Enterprise“ sowohl vor Ort im Unternehmens-Netzwerk (Intranet) als auch in der Cloud (der sogenannten „Enterprise Cloud“ im Internet) vorhanden. Das Netzwerk „Enterprise“ wird auch von Edge-Technologien genutzt.

Die Positionierung in RAMI4.0 gibt einen ersten Hinweis darauf, dass AAS, OPC UA und AML deshalb nicht miteinander konkurrieren, weil sie in unterschiedlichen Phasen im Lebenszyklus verwendet werden, unterschiedliche Aufgaben verfolgen und unterschiedliche technische Funktionen bieten.

2.2 Die Verwaltungsschale (AAS)

Die **Verwaltungsschale** (AAS) ist eine interoperable Umsetzung des digitalen Zwillings. Sie wird in IEC 63278 standardisiert. Als digitale Repräsentation eines Assets (z. B. Gerät, Maschine, Anlage) über ihren gesamten Lebenszyklus agiert sie als „Lebenszyklus-Akte“ eines Assets und ist damit Dreh- und Angelpunkt im Wertschöpfungssystem. Eine AAS kann bereits existieren, bevor das eigentliche Asset entwickelt oder produziert wurde (bspw. bereits in der Angebotserstellung). Auch für Assets, die nicht über eine Kommunikationsschnittstelle verfügen (z. B. Schrauben), kann die AAS verwendet werden.

Die wichtigsten Merkmale und Rollen, die für die Verwaltungsschale definiert sind:

- Eine AAS hat einen Bezug zu einem Asset und repräsentiert dieses digital,
- eine AAS bietet eine oder mehrere Schnittstellen,
- eine AAS referenziert ein oder mehrere Teilmodelle,
- eine AAS-Benutzeranwendung greift über Datenschnittstelle(n) auf die Informationen der AAS zu.
- eine Teilmodell-Vorlage dient der Erstellung eines Teilmodells nach dieser Vorlage,
- eine Teilmodell-Vorlage kann auf Detailmodelle, Wörterbücher und Ontologien verweisen,
- Detailmodelle, Wörterbücher und Ontologien definieren das gemeinsame Vokabular als Grundlage für die Interoperabilität,
- Teilmodelle können auf die Asset-Dienste verweisen, die von einem Asset über eine Asset-Integration bereitgestellt werden; es kann auf weitere mit dem Asset verbundene Dienste verwiesen werden.

Die AAS kann in unterschiedlicher Gestalt zur Verfügung gestellt werden, siehe Abbildung 3. Unterschieden wird zwischen:

1. AAS Typ 1, links im Bild: Sie dient dem offline Austausch als Paket-Datei AASX. Die AASX ist eine Serialisierung der Verwaltungsschale für ihre Speicherung zur semantischen Modellierung von lebenszyklusübergreifenden Teilmodellen. Sie stellt ihren gesamten Informationsinhalt als Ergebnis eines Produktentstehungsprozesses zur Verfügung, ohne selbst eigene Anwendungsaktionen zu initiieren.
2. AAS Typ 2, Mitte im Bild: Das *AAS API* (Stand April 2023: REST API) kann von außen angesprochen werden und dient dem Online-Austausch der AAS-Informationen und der Dokumente z. B. über den REST Server. Damit alle autorisierten Interessenten Zugriff darauf haben (Engineering, Vertrieb, Service etc.), wird die AAS aller Voraussicht nach physisch auf einem Enterprise-Level beheimatet sein. Die AAS-Technologie erlaubt eine Anwendung als Cloud-Dienst. Dies ist aber nicht zwangsläufig notwendig. Damit wird ein standardisierter Zugriff auf die Inhalte der AAS möglich.
3. AAS Typ 3, rechts im Bild: Die *AAS* mit der I40-Sprache: AAS könnte in Zukunft eine direkte Kommunikationsfähigkeit besitzen. Dies ist noch nicht vollständig spezifiziert, sondern Stand der Forschung und Teil geförderter Forschungsprojekte.

AAS Typ 3 ist nicht Inhalt dieses Papiers, die beschriebenen Sachverhalte beziehen sich auf die Verwaltungsschale Typ 1 und Typ 2. Typ 3 wird nicht betrachtet, weil dieses Papier konkrete Handlungsempfehlungen für die Gegenwart formulieren soll.

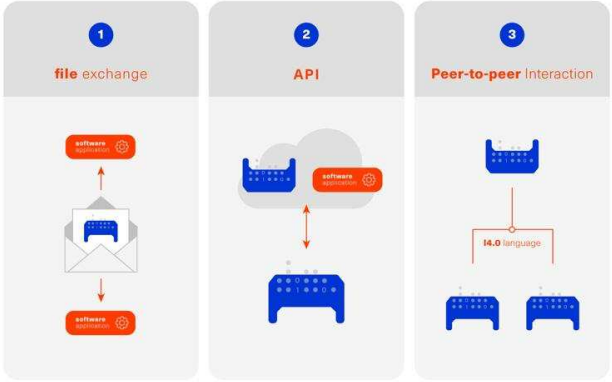


Abbildung 3: Types of Information Exchange via Asset Administration Shells

Tabelle 1 illustriert die Klassifizierung von Assets in *Typen* und *Instanzen*. Asset-Typen sind abstrakte Beschreibungen eines Assets. Asset-Instanzen hingegen repräsentieren die konkreten Exemplare eines Asset-Typs. Beispiel: wird der Roboter vielfach verkauft, ist jedes Exemplar eine Instanz des Typs. Exemplare sind Individuen, die von anderen Individuen unterscheidbar sind. Der Asset-Typ hingegen ist eine abstrakte Beschreibung der jeweiligen Roboterart.

Tabelle 1: Typ versus Instanz von Assets

Art des Assets	Lebenszyklusphase	Beschreibung
Asset-Typ	Engineering	Gültig von der Idee/Konzeptualisierung bis zu den ersten Prototypen/Tests. Der "Typ" eines Assets wird definiert; unterscheidende Eigenschaften und Funktionalitäten werden festgelegt und implementiert. Alle (internen) Design-Artefakte, die mit dem Asset-Typ verbunden sind, werden erstellt, z. B. CAD-Daten, Schaltpläne, eingebettete Software.
	Vertrieb	Die mit dem Asset verbundenen "externen" Informationen werden bereitgestellt, z. B. technische Datenblätter, Handbücher, Marketinginformationen. Der Verkaufsprozess beginnt.
Asset-Instanz	Betrieb	Asset-Instanzen werden auf der Grundlage der Asset-Informationen des Typs erstellt/produziert. Den Instanz-Assets sind spezifische Informationen zu Produktion, Logistik, Qualifikation und Test zugeordnet.
	Produktion/ Betrieb/ Wartung/ Service	Nutzungsphase durch den Käufer der Asset-Instanz. Die Nutzungsdaten sind mit der Asset-Instanz verknüpft und können mit anderen Partnern der Wertschöpfungskette geteilt werden, z. B. mit dem Hersteller der Asset-Instanz. Dazu gehören auch: Wartung, Neugestaltung, Optimierung und Außerbetriebnahme der Asset-Instanz. Der gesamte Lebenszyklus ist mit dem Asset verbunden und kann zur Dokumentation archiviert/freigegeben werden.

Die AAS ermöglicht einen vereinheitlichten digitalen Zugang zu Informationen über die zugehörige Asset-Instanz oder den zugehörigen Asset-Typ: Über sogenannte Teilmodelle werden zugehörige Asset-Informationen elektronisch modelliert und standardisiert auffindbar, erkundbar und nutzbar, beispielsweise das digitale Typenschild, Geometriebeschreibungen, Geräteparameter, Schnittstellen, Zertifikate, Dokumentation, aggregierte Betriebsdaten, Simulationen etc. Teilmodelle sind „Stand-Alone-Modelle“ und strukturieren die Informationen und Dokumente in Use Cases. „Stand-Alone-Modelle“ bedeutet, dass Submodels für sich selbst aussagefähig sein sollten, so dass auch eine AAS mit nur einem Submodel das Produkt digital repräsentieren kann.

Anwendungsfälle, die mit den Teilmodellen umsetzbar sind, sind beispielsweise:

- *Carbon Footprint* zur automatischen CO2-Berechnung aus Produktionssystemen und Lieferketten und der Einhaltung von Vorschriften und Pflichten gegenüber den Gesetzgebern. Mit der Vergleichbarkeit der Berechnung von ausgestoßenen Treibhausgasen und einer fairen Bewertung werden nachhaltige Einkaufs- und Entwicklungsentscheidungen auf Grundlage des PCF möglich.
- *Bill of Material* zur Abbildung von Beziehungen innerhalb größerer Systeme mit mehreren Stücklisten in mehreren Ebenen. Durch die Äquivalenzbeziehungen werden schnelles (Re-)Engineering von komplexen Anlagen oder automatische Diagnose und Datenanalyse möglich.
- *Digitales Typenschild* in Kombination mit
    - dem IEC 61406-1 Identification Link und
    - dem Submodel *Handover Documentation* basierend auf der VDI 2770

  erlaubt einen schnellen digitalen Zugriff auf Dokumente in jeweiliger Landessprache (z. B. Inbetriebnahmeanleitungen) und mit lokalen Zertifikaten und Konformitätserklärungen. Alle Seriennummern für Geräte können bspw. für die Zollerklärung zusammengefasst, Papierdokumentationen eingespart und sichere und genaue Identifizierung von Altkomponenten sichergestellt werden.
- Via Serialisierung können AAS versendet, empfangen und auch offline verwendet werden.
- Online können via OPC UA Echtzeitinformationen (z. B. Energieverbrauch des Motors) erfragt werden.
- Engineering-Werkzeuge können über die Verwaltungsschale erforderliche Engineering-Artefakte beziehen, beispielsweise Geometrien, Funktionsbausteine, Installationsanleitungen oder Simulationsmodelle. Weiterhin ist die Versorgung eines Simulationsmodells mit historischen oder Echtzeitdaten aus der Produktion über die Verwaltungsschale möglich, um eine Simulation mit realen Daten zu versorgen, um Optimierungen oder Fehlersuche zu vereinfachen.

Um diese Interoperabilität gewährleisten zu können, kommt der Standardisierung von Teilmodell-Vorlagen eine wesentliche Rolle vor, die genau die obigen Anwendungsfälle unterstützen, indem klar definiert ist, welche Daten untereinander ausgetauscht werden können. Durch das Teilmodell-Konzept sind außerdem feingranulare Zugriffs- und Verwendungsrichtlinien definierbar.

2.3 OPC Unified Architecture (OPC UA)

OPC Unified Architecture (OPC UA) definiert eine plattform- hersteller- und branchenunabhängiges modulares Framework (OPC UA ist nach dem Klemmbaustein-Prinzip konzipiert worden) für einen sicheren und zuverlässigen horizontalen und vertikalen Informationsaustausch in der Industrie.

Typische Anwendungen sind:

- OPC UA als operative *Online-Schnittstelle* eines Assets: OPC UA ermöglicht den Zugriff auf das im Betrieb befindliche Wertschöpfungssystem.
- OPC UA als operative *Offline-Schnittstelle*: Ermöglicht die flexible Speicherung, Suchen und Finden von hierarchischen Informationen.

Wichtig zu verstehen ist, dass OPC UA viel mehr als ein Protokoll ist: Es ist eine Sammlung von Technologien. Statt einer klassischen Kommunikationspyramide mit vielen unterschiedlichen Protokollen zwischen den Schichten bietet OPC UA eine moderne Architektur für durchlässige Informations-Netzwerke. Wesentliche Merkmale sind:

- OPC UA ist in der IEC 62541 standardisiert und ein lokaler Standard in vielen Ländern wie China, Korea, Singapur, Russland, Norwegen usw.
- Die Anwendung von OPC UA ist domänenunabhängig und wird in der Fabrikautomatisierung, der Prozess- und Energie Branche aber auch in der industriellen Küchenwelt eingesetzt
- Die auszutauschenden Informationen können mit OPC UA modelliert werden: Branchenspezifische Informationen stehen in sogenannten *Companion Specifications* zur Verfügung, Firmen können aber auch eigene Informationen zur Differenzierung zusätzlich zum Domainstandard anbieten und den Zugang zu diesen erweiterten Informationen mit Hilfe von Sicherheitsbestimmungen selbst regeln.
- Kommunikation: Um die vielfältigen und unterschiedlichen Kommunikationsanforderungen in der Automatisierung bedienen zu können, bietet OPC UA verschiedene Kommunikationsmuster für OT (Client/Server und PubSub) sowie für die IT (PubSub und REST) an. Der Transport von standardisierten Informationen kann über verschiedene unterlagerte Protokolle wie TCP, UDP, MQTT abgewickelt werden. Dieses Angebot ist unabhängig von unterlagerten physikalischen Infrastrukturen wie Kabel, 5G, WiFi, Ethernet-APL, TSN, …,
- Die integrierte „Security by design“ gewährleistet nicht nur die Sicherheit bei der Übertragung, sondern auch die Sichtbarkeit und die Zugriffsmöglichkeit auf Informationen.
- Data-Dictionaries: Definitionen können in OPC UA auf weitere, externe Data-Dictionaries (Datenkataloge) wie IEC Common Data Dictionary oder ECLASS verweisen.
- OPC UA skaliert vom Sensor und Aktor bis in die Cloud, DataSpace, Metaverse
- Das Finden von OPC UA fähigen Geräten und Softwarediensten im Netzwerk beinhaltet auch das sichere Onboarding von Geräten und Diensten mit aktuellen Security Mechanismen.

Abbildung 4 erläutert die Kommunikationsfähigkeit von OPC UA. Vielfältige Möglichkeiten von OPC UA Schnittstellenbeschreibungen ermöglichen die Auflösung der stringenten klassischen Kommunikationspyramide in ein modernes Informationsnetzwerk (Mesh): OPC UA fähige Geräte oder Softwaredienste können flexibel Kommunikationsszenarien mit integrierter IT Security abbilden und dabei auch Kommunikations-Ebenen auslassen.

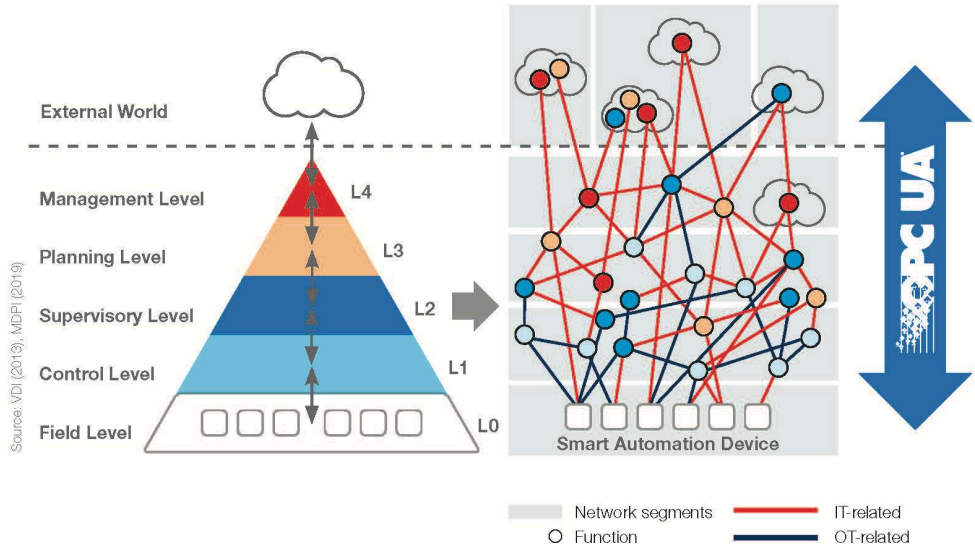


Abbildung 4: Semantische Interoperabilität mit OPC UA vom Sensor in die Cloud

Beispiel: ein RFID-Reader stellt Daten (als OPC UA Server per TCP) einem SCADA System zur Verfügung, aber parallel (per OPC UA over MQTT) auch einem Cloud-Dashboard: Die Daten müssen daher nicht erst über SCADA, MES, ERP bis in die Cloud transportiert werden.

Abbildung 5 zeigt, dass die OPC UA Kommunikation jegliche Kommunikationen vom Feld bis in die Cloud, DataSpace, Metaverse – kurz der IT-Ebene – abdeckt. Dabei werden Informationen über verschiedene Protokolle mit unterschiedlichen Kommunikationsmustern übertragen.

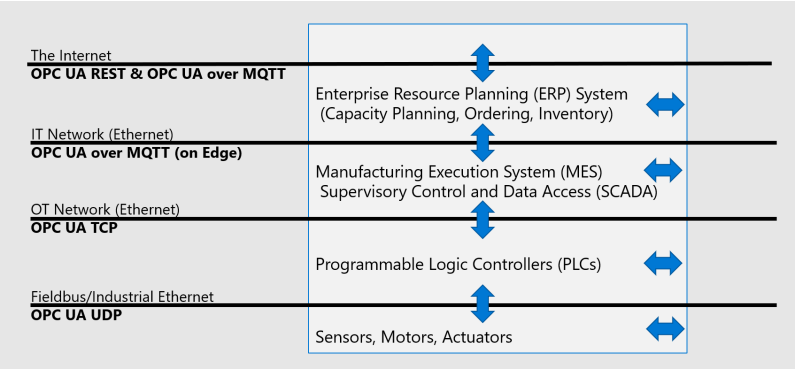


Abbildung 5: Das Industrielle, durchlässige Informations-Netzwerk mit OPC UA

Beispiele für solche Kommunikations-Szenarien sind:

- *Software-Hardware Interaktion per TCP*: Eine SPS mit OPC UA Client signalisiert dem MES-System als OPC UA Server die Abarbeitung eines Auftrages und somit die Möglichkeit, für einen neuen Auftrag verfügbar zu sein.
- *Software-Software Interaktion per TCP*: Eine SCADA Applikation als OPC UA Server bietet verrechnete Daten an eine OPC UA Client-fähige MES Applikation an.
- *Hardware-Software Interaktion per MQTT*: Ein SPS-Controller steuert eine Pumpenanlage und stellt Daten als OPC UA Publisher mit „OPC UA over MQTT“ in einer Cloud-Dashboard Applikation als MQTT-Subscriber zur Verfügung.
- *Software-Software Interaktion per MQTT*: Eine MES-Applikation stellt Daten als OPC UA Publisher mit „OPC UA over MQTT“ in einer Cloud-Dashboard Applikation zur Verfügung.
- *Software-Software Interaktion per REST*: Ein Gateway in der Edge stellt einen OPC UA Server mit REST Interface zur Verfügung - somit kann eine Web-Applikation per “OPC UA via REST” Daten je nach Sicherheitsrichtlinien abfragen oder schreiben und mit dem unter dem Gateway unterlagerten System interagieren.
- *Hardware-Hardware Interaktion per UDP*: Ein Feldgerät (Controller) mit OPC UA FX Funktion tauscht auf Feldbusebene Daten mit einem anderen Feldgerät (Controller oder Device) aus – ggf. mit echtzeitkritischen Daten wie OPC UA Motion oder OPC UA Safety Funktionalität.

Viele Geräte bieten eine Kombination von verschiedenen OPC UA Übertragungen an, diese werden als Hybrid-Anwendungen bezeichnet. Weitere Anwendungsbeispiele für OPC UA sind:

- *Software-Software Interaktionen per TCP und MQTT*: Applikationen wie eine SPS können als echtzeitkritische Anwendung mit Feldbus an der Maschine aber ebenso ohne Echtzeit Anspruch als Edge-Anwendung oder in der Cloud laufen: OPC UA stellt die Verbindung vertikal an die Feld- oder IT-Ebene her und kann die passende Kommunikationslösung bieten.
- *Brownfield Anwendungen*: Für Bestandsanlagen kann die sichere, moderne Kommunikationsaufgabe mit einem ergänzenden OPC UA Server in einem vorgeschalteten Gateway übernommen werden. Das Gateway sollte dabei fähig sein die OPC UA Informationsmodelle der Bestandsanlage (z. B. Roboter) so gut wie möglich abzubilden. Als Ergebnis kann eine Software-Applikation (wie SCADA, MES oder ERP) als OPC UA Client somit standardisierte Daten über das Gateway aus einer unterlagerten Bestandsanlage konsumieren.

Eine wichtige Bedeutung für OPC UA haben *Companion Specifications*. Während OPC UA festlegt, “WIE” Informationen sicher ausgetauscht werden können, definieren OPC UA Companion Specifications, “WAS” als Information ausgetauscht wird. Hier werden Informationsmodelle auf Basis des OPC UA Metamodells (Grammatik und Syntax) definiert und dokumentiert. Dies ist ein wichtiger Schlüssel für den effizienten digitalen Datenaustausch.

Die Kombination der standarisierten Datenaustauschtechnologie (OPC UA) mit standardisierter Semantik der auszutauschenden Informationen (Companion Specifications) ergeben folgende Mehrwerte für die Industrie:

- Für den Maschinen- oder Komponentenhersteller werden Aufwendungen der Schnittstellen-Entwicklung reduziert
- Die Integration von Maschinen, Komponenten und Diensten beim Maschinenbetreiber wird erleichtert.
- Der Maschinenbetreiber kann die Informationen mit höherer Verfügbarkeit gesteigerter Transparenz ohne fehleranfällige Interpretationsaufwände verarbeiten.

OPC UA Companion Specifications bieten:

- *domänenspezifische Informationsmodelle*: Für Assets werden die semantischen Beschreibungen ihrer Daten und der Funktionalität definiert z. B. Robotik, Pumpe, Motor, Auto-ID Geräte, Industrielle Küchengeräte, Laboranalysegeräte, etc.
- oder *Protokoll-Übersetzungen*: Für bestehende Industrie-Protokolle z. B. IO-Link, ProfiNET, etc. wird definiert, wie diese unzweideutig nach OPC UA umzusetzen sind.
- oder *Engineering-Übersetzungen*: Umsetzung und Abbildung von SPS-Programmiersprachen wie IEC61131-3

Abbildung 6 illustriert die Informationsmodelle: Stand April 2023 (35) stehen mehr als 85 Spezifikationen kostenlos und öffentlich zur Verfügung. Die Ausarbeitung der verschiedenen Companion Specifications erfolgt durch Domain-Experten und in Kooperation mit anderen Verbänden, dabei sind folgende Regeln und Hilfsmittel verfügbar:

- Prototyping: Die Qualität und Relevanz von OPC UA Spezifikationen werden immer per verpflichtender prototypischer Implementierung auf die Umsetzbarkeit getestet.
- Validierungstools (z. B. der NodeSet Validator) helfen die Konsistenz der Spezifikationen zu prüfen. Als Ergebnis von der Standardisierung, Prototyping und Validierung stehen 2 Dokumente zur Verfügung: (a) eine menschenlesbare Word/PDF Datei und (b) eine maschinenlesbare xml Datei (OPC Nodeset Datei).
- Mit dem Compliance Test Tool (CTT) stehen Testmöglichkeiten für die Spezifikationen zur Verfügung. In der OPC UA Online Reference (https://reference.opcfoundation.org/) werden alle Spezifikationen und Informationsmodelle als durchsuchbare und verlinkte Versionen bereitgestellt.
- Zertifizierung: Für OPC UA Companion Specifications gibt es die Möglichkeit der Zertifizierung.

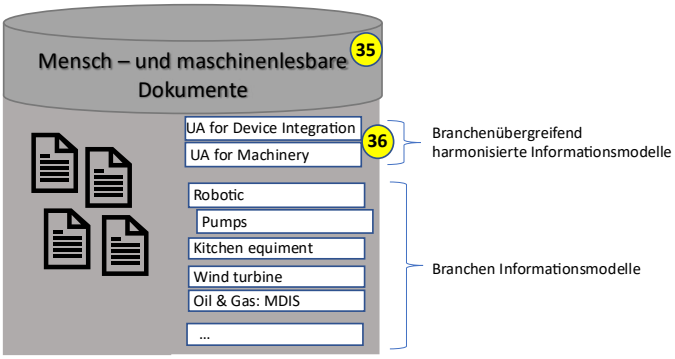


Abbildung 6: Branchenspezifische und harmonisierte Informationsmodelle

Neben branchenspezifischen OPC UA Companion Specifications findet auch eine branchenübergreifende Harmonisierung (siehe Abbildung 6 36) statt. Diese harmonisierten Informationen stehen als branchenübergreifende Standards zur Verfügung, siehe Abbildung 7. Beispiele sind die "*OPC UA for Device Integration*" (z. B. Health-Status, Asset-ID, etc.) oder die "*OPC UA for Machinery*" für Produkte/Assets des Maschinen- und Anlagenbaus (z. B. Maschinenstatus, Identifikation, OEE-Daten oder Energieverwaltung.)

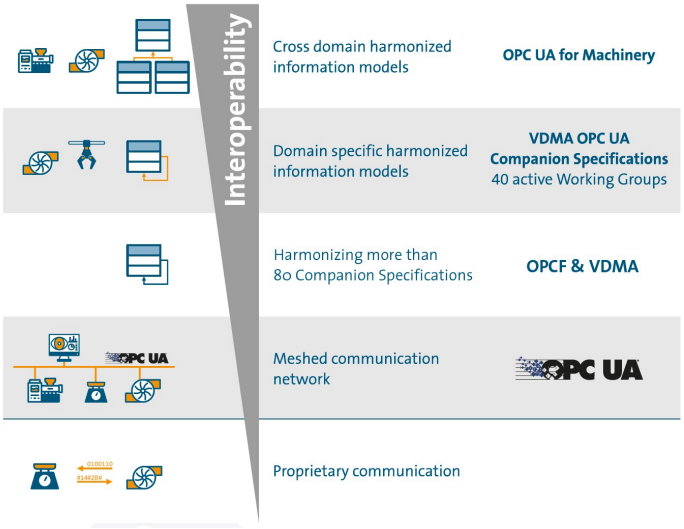


Abbildung 7: OPC UA for Machinery als harmonisierte Basis vieler OPC UA Companion Specifications

2.4 AutomationML (AML)

AutomationML (AML) ist eine im AutomationML e.V. entwickelte und standardisierte, flexible, objektorientierte Datenmodellierungssprache und ein Dateiformat für das Speichern und den iterativen Austausch von Objektmodellen. AML wurde speziell für den wiederholten Datenaustausch im Engineering entwickelt und ermöglicht einen durchgängigen, digitalen, verlustlosen Datenaustausch in Engineering-Werkzeugketten. Abbildung 8 zeigt eine Übersicht von AutomationML-Innovationen, die es für den Austausch objektorientierter Datenmodelle im Engineering besonders qualifizieren.

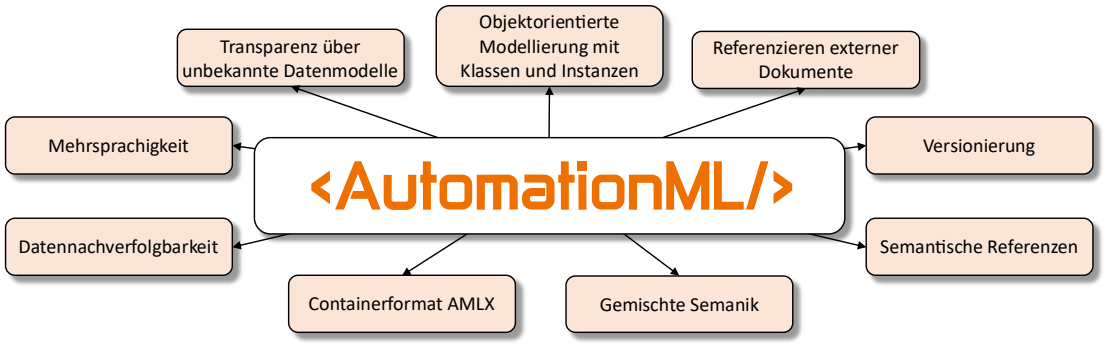


Abbildung 8: Auswahl von AutomationML-Funktionen für den Datenaustausch im Engineering

Wesentliche Merkmale von AutomationML sind: AutomationML

- ist in der IEC 62714 standardisiert,
- ist objektorientiert, bibliotheksbasiert und basiert auf XML,
- standardisiert die Syntax einer Modellierungssprache und ihrer Sprachelemente zur herstellerneutralen Speicherung von Objektwelten, insbesondere technischer Systeme,
- standardisiert die Integration von Geometrie und Kinematik sowie von Logik (SPS Programme),
- kann sowohl standardisierte als auch proprietäre Datenmodelle gemischt abbilden,
- bietet Versionierung und Revisionsfunktionen, die die Evolution (schrittweise Weiterentwicklung) von Bibliotheken ohne Konflikte mit bestehenden und bereits freigegebenen Datenmodellen (Instanzen) unterstützt,
- kann externe Dokumente (Icons, Dokumente, P&ID-Symbole, Funktionsblöcke, was auch immer in Zukunft benötigt wird) für verschiedene Anwendungsfälle referenzieren,
- bietet ein Paketformat, um mehrere Dateien wie eine AML-Bibliothek und ein AML-Projekt und referenzierte externe Dokumente in einer Datei zusammenzufassen.
- bietet globale, eindeutige IDs zur Identifizierung von Objekten während des Datenaustauschs (dies ist eine Voraussetzung für wiederholten und iterativen Datenaustausch),
- ist erweiterbar und kann neue Merkmale, Objekttypen oder neue Anwendungsfälle leicht integrieren, ohne den AutomationML Standard zu ändern,
- bietet Mehrsprachigkeit von Merkmalen,
- kann Bibliotheken signieren – dies schützt Bibliotheken vor unerwünschten Änderungen und stellt somit die Konsistenz des Engineering Prozesses sicher,
- bietet semantische Referenzen, die es erlauben, die Semantik eines Merkmals optional auf bestehende semantische Standards abzubilden, z. B. ECLASS oder IEC CCD - dies ermöglicht maschinelle Interpretierbarkeit,
- basiert auf etablierten Technologien, die Zukunftskompatibilität versprechen – AutomationML basiert unter anderem auf XML, CAEX und PLCopen XML,
- ist für kleine und große Anwendungen anwendbar, d.h. schlanker Overhead für kleine Projekte und optionale Funktionen zur Aufteilung großer Modelle in mehrere Dateien, Metainformationen zur Nachverfolgung großer Daten,
- ist automatisierbar auf syntaktische Korrektheit überprüfbar,
- kann im Sinne des Datenaustausches auch unvollständige, unzureichende und inkonsistente Daten speichern, dies bietet eine für die industrielle Praxis ansonsten unerreichte Robustheit,
- ist schnell zu erlernen und mit Hilfe eines SDK leicht zu programmieren.

Mit AutomationML werden für das Engineering domänenspezifische Informationsmodelle in Form von Domänen-Bibliotheken entwickelt und in den Whitepapern und Application Recommendations spezifiziert. Diese ergänzen die standardisierte Syntax von AML um die Semantik eines Anwendungsgebietes. Durch Verwendung dieser Klassen gelingt der Datenaustausch von Engineering-Daten und es wird Interoperabilität entlang der Werkzeugkette von Engineering-Tools geschaffen, auch in einer heterogenen Werkzeuglandschaft.

Die Anwendungsfälle sind vielfältig, typische Anwendungen sind: AutomationML ermöglicht die Speicherung und den Austausch von

- herstellerspezifischen Bibliotheken für Typen von Assets (Typmodelle),
- Attributtypbibliotheken zur Standardisierung von Merkmalen,
- Schnittstellenbibliotheken zur Modellierung von logischen oder physischen Schnittstellen,
- Anforderungen an die gewünschten Komponenten eines technischen Systems (Anforderungsmodelle),
- Rollenbibliotheken für die herstellerneutrale Modellierung der Bedeutung von Assets,
- konkreten Instanzen und ihren Verbindungen in Form von Objektbäumen, einschließlich Mehrsprachigkeit, Vererbung und Versionierung sowie
- Engineeringmodellen für spezifische Geräteinstanzen, beispielsweise Gerätebeschreibungsdateien in Echtzeitkommunikationssystemen.
- beliebigen Asset-Modellen, wie bspw. Steuerungsstrukturen, das MTP[1], Informationsmodell-Dateien zur Offline-Beschreibung von OPC UA FX Systemen[2], sowie das Automation Component Model zur Modellierung von Assets im Detail, sowie die Modellierung von Materialfluss.

AutomationML wurde speziell für das herstellerneutrale Modellieren und Speichern von Engineering-Strukturmodellen entwickelt, d.h. Objektmodelle für Assets, Topologiemodelle für Anlagen, Objektmodelle für Hardwaretopologien, vernetzte Systemmodelle von Automatisierungsanlagen usw.

Mit Hilfe von Referenzierungsmechanismen können externe Dokumente in das AML-Gesamtmodell eingebunden werden, beispielsweise OPC UA Nodeset-Files, Gerätebeschreibungsdateien oder beliebige offene oder proprietäre Dateien. AutomationML Dokumente können sich daher auf mehrere Dateien verteilen, diese sind durch die Fähigkeit zur Paketierbarkeit in einem Containerformat als amlx-Datei speicherbar.

AutomationML bietet mit Hilfe seiner umfangreichen Versionskonzepte spezielle Unterstützung für den iterativen (wiederholten) Datenaustausch und erlaubt die Rückverfolgung zum Ursprung eines Objekts, einer Klasse oder eines Attributs.

Durch seine Erweiterbarkeit ist AutomationML in der Lage, auch künftige Datenmodelle oder Semantikmodelle zu integrieren und sich unterschiedlichen Anforderungen im Engineering-Datenaustausch anzupassen, ohne den AML Standard selbst ändern zu müssen.

2.5 Aufgabenteilung dieser Interoperabilitätslösungen

OPC UA, OPC UA Companion Specifications, AutomationML und die Verwaltungsschale verfolgen Interoperabilität, allerdings auf verschiedenen Ebenen und verfolgen unterschiedliche Aufgaben. Tabelle 2 illustriert ihre verschiedenen Schwerpunkte:

- **AutomationML** hat seinen Schwerpunkt im Austausch von Engineering-Daten während der Entwicklung (Engineering) von *Assets* und von *industriellen Systemen*, vor dem Betrieb einer Anlage. AutomationML adressiert die Interoperabilität zwischen proprietären Engineering-Werkzeugen und vereinfacht die Schaffung von Konsistenz zwischen Werkzeugen der Anlagenplanung. Es ist für den Austausch abgestimmter und geprüfter Zwischenstände genauso geeignet wie für den spontanen Austausch von unvollständigen oder fehlerhaften Arbeitsversionen, die nicht für die Öffentlichkeit bestimmt sind. Der Austausch mit AML findet dabei gezielt zwischen beteiligten Partnern statt und toleriert Fehler. Für den Austausch von

[1] Mario Hoernicke, Katharina Stark, and Leon Urbas. *MTP – automation engineering of modular process plants*. In (Rainer Drath, editor): AutomationML, pages 125–164. De Gruyter, July 2021.

[2] https://opcfoundation.org/wp-content/uploads/2020/11/OPCF-FLC-Technical-Paper-C2C.pdf

z. B. aktuellen Signallisten oder Hardware-Topologiemodellen ist eine Referenz auf ein zugehöriges herstellerneutrales Detailmodell wie z. B. AutomationML oder auf eine proprietäres Speicherformat konzeptionell besser geeignet als das Remodellieren in einem Teilmodell.

- **OPC UA** und seine **Companion Specifications** haben ihren Schwerpunkt im standardisierten Bereitstellen und Zugriff auf Daten im laufenden Betrieb einer Anlage oder eines Assets. Zusätzlich bieten Companion Specifications semantische Beschreibungen der Daten und Funktionen. Informationsmodelle werden in Companion Specifications beschrieben und zur Kommunikation stehen skalierbare Lösungen von Shopfloor (*Feldebene*) bis in die *Connected World* zur Verfügung (Client/Server, Publisher/Subscriber via MQTT, UDP oder TSN).
- Die **Verwaltungsschale** und ihre **Teilmodelle** haben als digitale Repräsentanz des Assets ihren Schwerpunkt im standardisierten Bereitstellen und Zugriff von Merkmalen und Informationen über den gesamten Lebenszyklus hinweg. Dies geschieht über standardisierte APIs. Verwaltungsschalen Typ 1 können als AASX-Pakete herstellerübergreifend ausgetauscht werden. Der Zugriff auf die Verwaltungsschalen Typ 2 erfolgt einheitlich über eine API, diese sind in der Connected World (siehe RAMI Modell oben) lokalisiert.

Tabelle 2: Vergleich Interoperabilitätstechnologien (schwarz: Schwerpunkt, grau: Nebenanwendungsfall)

TECHNOLOGIE	AUSSCHREIBUNG, VERTRIEB	ENGINEERING	PRODUKTION	BETRIEB SCADA, MES, ERP, CLOUD	WARTUNG UND SERVICE
AML	- Zugriff auf Objektmodelle für Typen, Instanzen und Lösungen - Durch Engineering getriebene Akquise von Assets	- Datenaustausch - Komponentenmodelle - Systemmodelle - Elektronisch lesbar und verarbeitbar - Detailliert	- Digitales Systemmodell zur Unterstützung menschlicher Entscheidungen	- Digitales Systemmodell zur Unterstützung menschlicher Entscheidungen	- Digitales Systemmodell zur Unterstützung menschlicher Entscheidungen
OPC UA		- Planung der OPC UA Konfiguration - Test - Zugriff auf historische Daten	- Datenzugriff auf Prozesswerte und historische Daten im laufenden Betrieb (lesen/schreiben)	- Datenzugriff auf Prozesswerte und historische Daten im laufenden Betrieb (lesen/schreiben)	- Datenzugriff auf Prozesswerte und historische Daten im laufenden Betrieb (lesen/schreiben)
Verwaltungsschale	- Entstehung der AAS. - Vereinheitlichter Online-Zugang zu Typen und Vertriebsinformationen	- Vereinheitlichter Offline- und Online-Zugang zu Anforderungen, Typinformationen (digitale Produktkataloge), Instanzmodelle, Design-Artefakte, die mit dem Asset-Typ verbunden sind (CAD, Schaltpläne, eingebettete Software) Onlinedaten.	- Produkte werden auf der Grundlage der Typ-Informationen produziert. Den Instanz-Assets (Produkten) sind spezifische Informationen zu Produktion (via OPC UA), Logistik, Qualifikation und Test zugeordnet.	- Vereinheitlichter Onlinezugang zu individuellen Dokumenten oder Daten in der Cloud (z. B. time series data)	- Vereinheitlichter Offline- und Onlinezugang zu individuellen Dokumenten oder Daten in der Cloud (z. B. time series data)

Die Verwaltungsschale eines Assets übernimmt folglich eine überwiegend organisierende und aggregierende Rolle, sie konkurriert nicht mit AutomationML oder OPC UA, sondern ist ein weiterer Baustein in der Interoperabilitätslandschaft.

- Die in der Verwaltungsschale bereitgestellten Daten sind für alle autorisierten Teilnehmer findbar und sollten verlässlich sein. Sie ist für statische unveränderliche Typinformationen geeignet, aber nicht für den spontanen Austausch von inkonsistenten Engineering-Daten.
- Die Verwaltungsschale kann auch dynamische Daten speichern, zum Beispiel kann in der Verwaltungsschale eine Aggregation relevanter Produktionsinformationen erfolgen, z. B. der Energieverbrauch eines Assets. Diese Information kann über OPC UA in die Verwaltungsschale eingespeist werden.
- In einem Verwaltungsschalen-Teilmodel kann beschrieben werden, wie ein OPC UA Server im Asset gestaltet ist. Dazu wird beispielsweise ein OPC UA Nodeset File oder die Cloud-Library von

OPC UA referenziert. Somit stellt sie für das Engineering Informationen zur Verfügung, um z. B. Netzwerk und Security zu planen oder Applikationen für den Betrieb zu entwickeln.

- In der Verwaltungsschale kann eine Aggregation exponierter OPC UA Informationen erfolgen, wenn der gesammelte Energieverbrauch einer Maschine via OPC UA aufsummiert und in vorgegebenen Abständen in der Verwaltungsschale veröffentlicht wird.
- Die Verwaltungsschale bietet einen Zugangspunkt in AutomationML Modelle, die beispielsweise für Automatisierungskomponenten von Seiten der Hersteller bereitgestellt werden. Diese Modelle sind für die Verwaltungsschale Teilmodelle. Für die Möglichkeit einer durchgängigen Speicherung als AMLX Container haben die Plattform Industrie 4.0 und der AutomationML e.V. eine Abbildung der Verwaltungsschale auf AutomationML definiert.

2.6 Berührungspunkte dieser Interoperabilitätslösungen

AML, OPC UA und AAS besitzen eine Vielzahl von gegenseitigen Berührungspunkten, an denen sie sich gegenseitig verstärken und ergänzen können, siehe Abbildung 9:

- Der Pfeil (1) zeigt die Integration von AutomationML in die Verwaltungsschale: so können ein komplettes AutomationML-Modell oder ausgewählte Inhalte davon in einer Verwaltungsschale veröffentlicht werden, um einen vereinfachten Zugriff auf diese Informationen zu bieten. Ein Beispiel hierfür sind Services aus einer MTP Datei. Andererseits können aus AutomationML-Informationsmodellen automatisch Verwaltungsschalen für Produkttypen generiert werden, wenn die zugehörigen Produktdaten in AutomationML vorliegen. Dies ist ein effizienter Weg für die automatische Erzeugung von Verwaltungsschalen.
- Der Pfeil (2) illustriert, dass AutomationML Detailmodelle aus der Verwaltungsschale referenziert werden können, z.B. eine MTP-Datei.
- Der Pfeil (3) zeigt, dass die OPC UA Field Level Communication Initiative zur Parametrisierung der Feldgeräte AutomationML als Konfigurationsdatei nutzt. Die AutomationML Knoten modellieren auf diese Weise die OPC UA FX Parameter der Feldgeräte.
- Der Pfeil (4) zeigt, dass OPC UA Knoten in AML benannt und adressiert werden können.
- Der Pfeil (5) zeigt, dass die Verwaltungsschale OPC UA Informationsmodelle referenzieren kann. Beispiele hierfür sind die Referenzierung eines OPC UA Servers, der wiederum den operativen Zugriff auf Echtzeitinformationen bietet, oder eines OPC UA Nodeset Files aus der UA Cloud Library. Ein Roboterhersteller könnte damit das OPC UA Informationsmodell des Roboters seinen Kunden frühzeitig über die Verwaltungsschale zur Verfügung stellen, bevor der Roboter tatsächlich bestellt ist.
- Der Pfeil (6) zeigt, dass OPC UA Informationen in die Verwaltungsschale gespeist werden können, beispielsweise den CO2-Fußabdruck einer Maschine innerhalb eines Zeitraumes.

Die Modell-Überlappungen zwischen AAS, AML und OPC UA sind dabei stets mit einem nützlichen Use-Case verbunden. Eine Doppelmodellierung umfangreicher Informationsmodelle ist nicht erforderlich, sondern unerwünscht, denn sie führt zu Redundanz, Doppelmodellierung, Inkonsistenzen und hohen Entwicklungskosten.

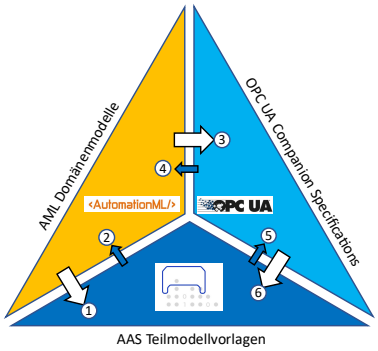


Abbildung 9: AAS, AML und OPC UA erreichen gemeinsam Interoperabilität und ergänzen sich gegenseitig

3 Zielbild: das Zusammenspiel der Interoperabilitätslösungen

In diesem Kapitel wird das Big Picture erläutert, wie die Interoperabilitätslösungen AAS, OPC UA und AML gemeinsam Interoperabilität schaffen, nicht miteinander konkurrieren und Doppelmodellierungen oder Doppelentwicklungen vermeiden. Das gesamte Zielbild wird in Abbildung 16 gezeigt, die nachfolgenden Abschnitte führen das Zielbild schrittweise ein und erläutern die unterschiedlichen Schwerpunkte.

3.1 Big Picture Teil 1: die Verwaltungsschale als zentraler Informationshub für Asset-Typen und Asset-Instanzen

Der erste Schritt zum Verständnis des Big-Pictures ist die Unterscheidung zwischen der Verwaltungsschalen für Typen und für Instanzen.

Abbildung 10 zeigt den ersten Schritt des Big Pictures anhand einer aktiven Verwaltungsschale für einen Typen. Diese beinhaltet Informationen über den Typ eines Assets, d.h. sie liefert Eigenschaften eines Produkttyps, die für alle Exemplare des Produkttyps identisch sind und typischerweise von Komponentenherstellern in digitalen Online- Katalogen bereitgestellt werden. Diese legen künftig jedem angebotenen Produkt eine Typ-Verwaltungsschale bei und verwenden dabei standardisierte Teilmodelle für ihre Datenmodellierung. Die Typ-Verwaltungsschale agiert als digitale Akte für Asset-Typen. Abbildung 10 zeigt ihre Position im Big Picture: die Typ-Verwaltungsschale (1) agiert als digitale Repräsentation eines Asset-Typen und liefert ihre Informationen über eine Schnittstelle (2) an alle interessierten Tools (4) in der *Connected World* und hilft, die Produkttypen zu finden und zu integrieren. Typ-Verwaltungsschalen lassen sich idealerweise aus Produktdatenbanken (semi-) automatisch generieren.

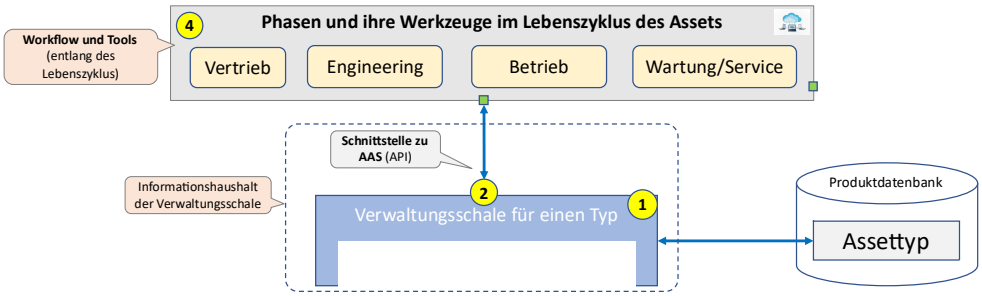


Abbildung 10: Big Picture Teil 1 - die Typ-Verwaltungsschale als Verwaltung eines Asset-Typs

Abbildung 11 zeigt den ersten Teil des Big Pictures mit einer *Verwaltungsschale* und ihrem Asset (1): sie ist eine lebenszyklusübergreifende digitale Repräsentation eines konkreten Assets (6).

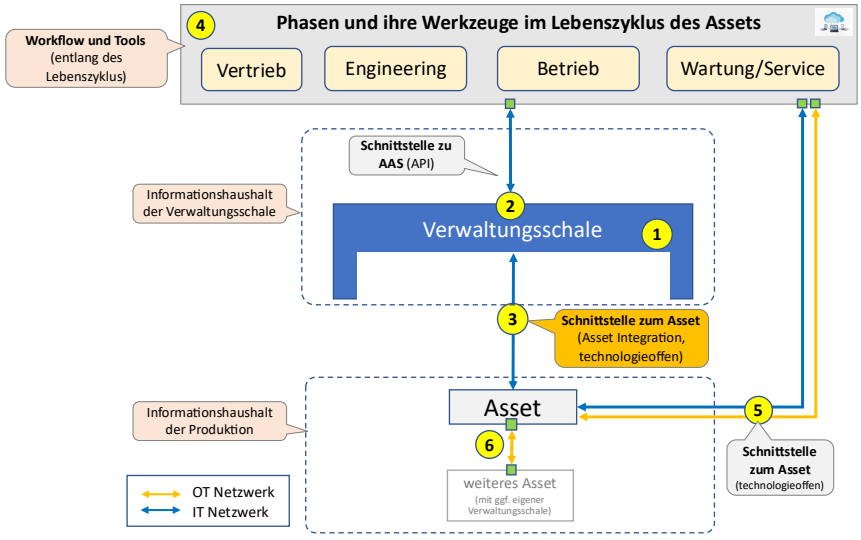


Abbildung 11: Big Picture Teil 1 - die Verwaltungsschale als Verwaltung eines konkreten Assets

Während die Instanzen eines Assets nur *eine* gemeinsame Verwaltungsschale benötigen, wird jede einzelne physikalische Komponente von einer eigenen Verwaltungsschale repräsentiert. Eine Typ 2 Verwaltungsschale bietet standardisierten Zugriff über die AAS API (2) (April 2023: REST API) für die Werkzeuge entlang des Lebenszyklus (4). Wenn vorhanden, erfolgt die Anbindung an das Asset über die *Asset Integration* als technologieoffene Schnittstelle (3), das Konzept ist aber auch für passive Assets ohne Kommunikationsfähigkeit anwendbar. Über technologieoffene Schnittstellen (5) können abseits der Verwaltungsschale autorisierte Werkzeuge auf ihr intelligentes Asset zugreifen, z. B. zum Download von Parametern oder Code.

3.2 Big Picture Teil 2: der Informationshaushalt der Verwaltungsschale

Abbildung 12 widmet sich dem Informationshaushalt einer Verwaltungsschale und dem Zusammenspiel mit dem AAS Repository, mit anderen Verwaltungsschalen und seinen Teilmodellen. Die Erläuterungen gelten für Verwaltungsschalen für Instanzen und Typen gleichermaßen, die werden im Folgenden allerdings am Beispiel der Verwaltungsschale eines konkreten Assets erläutert.

Ein wichtiges Element für einen geordneten Datenhaushalt einer Verwaltungsschale ist die Unterscheidung zwischen Teilmodellen und Detailmodellen.

- Für die Interoperabilität von *Teilmodellen* (en: submodels) entwickeln Arbeitsgruppen sogenannte *Teilmodellvorlagen*, die nach ihrem Release von der IDTA zur Verfügung gestellt werden. Ihre Modellierung erfolgt nach dem Metamodell der AAS, die Semantik der Merkmale wird durch semantische Referenzen maschinenlesbar modelliert, die Datenstrukturen werden im Rahmen einer Standardisierung in Teilmodellvorlagen festgelegt.
- Neu ist die explizite Verteilung der Informationen auf Teilmodelle und Detailmodelle: Detailmodelle sind referenzierte Modelle, sie dienen der Modellierung der Fülle an Details, für die etablierte Datenformate existieren und deren Inhalte nicht von allgemeinem und phasenübergreifendem Interesse sind. Diese werden aus Teilmodellen referenziert.

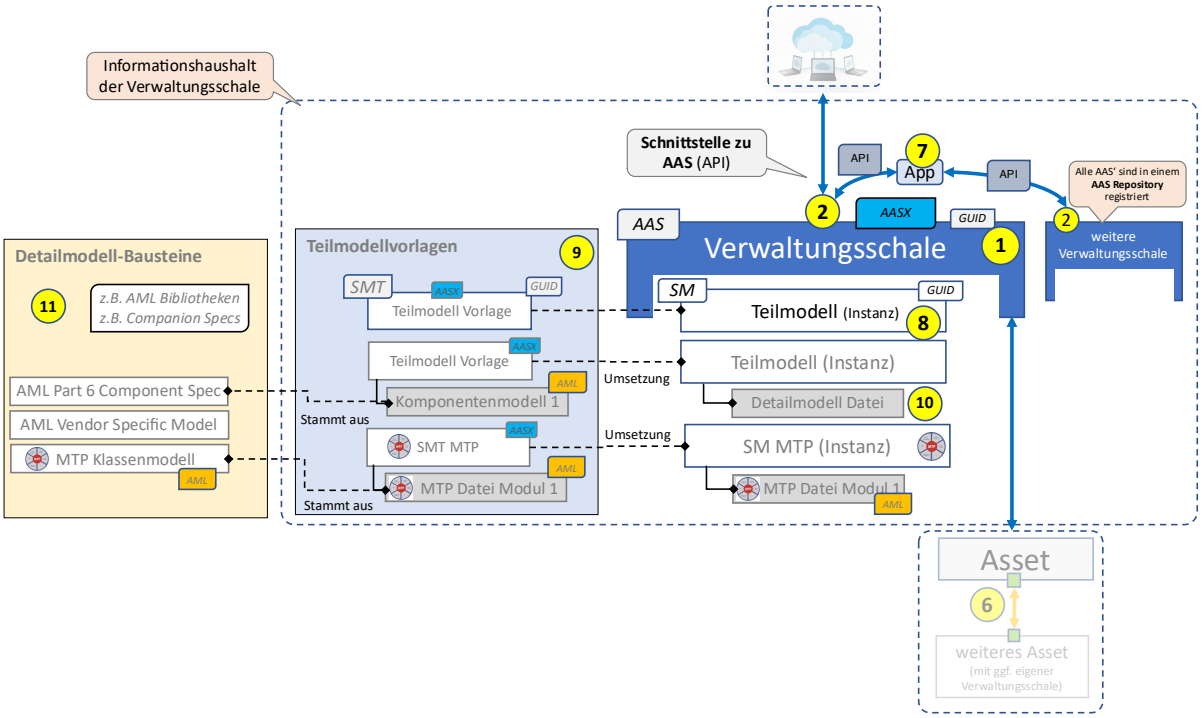


Abbildung 12: Big Picture Teil 2 - Informationshaushalt der Verwaltungsschale

- (7) zeigt, dass Verwaltungsschalen nach aktuellem Stand der Technik nicht direkt mit anderen Verwaltungsschalen kommunizieren, sondern dass hierfür Applikationen (7) benötigt werden, die unter Verwendung der Schnittstellen (2) die gewünschten Interaktionen vornehmen. Typ 3 Verwaltungsschalen können diese Aufgaben in Zukunft voraussichtlich proaktiv selbst ausführen.
- (8) sind die Teilmodelle (engl.: Submodels): Verwaltungsschalen strukturieren ihre standardisierten Dateninhalte über Teilmodelle, wobei hier zwischen Typen und Instanzen unterschieden wird. Die Verwaltungsschale (1) eines konkreten Asset (6) beinhaltet Teilmodelle mit konkreten individuellen Merkmalen des individuellen Assets. AAS

Teilmodelle können Detailmodelle referenzieren, um auf Detailinformationen zu verweisen, die nicht von lebenszyklusübergreifendem Interesse sind. Dies sind beispielsweise AutomationML-Modelle. Beispiele:

- Teilmodell „Inclusion of Module Type Package (MTP) Data into AAS“: Das Teilmodel beschreibt die **Integration** der konkreten, assetbezogenen PEA- (Instanz) und MTP- (Typ) Informationen in einer AAS. Die MTP-Datei selbst wird in AutomationML gespeichert und vom MTP-Teilmodell referenziert. Das Teilmodell modelliert sparsam nur wesentliche Informationen, in der MTP-Datei werden Engineering-Informationen im Detail mittels AutomationML gespeichert.
- Teilmodell „Simulation“: Mit diesem Teilmodell kann über die AAS auf die konkreten Simulationsmodelldaten zugehörig zum Asset standardisiert zugegriffen und zur Verfügung gestellt werden.
- Teilmodell „Time Series Data“. Dieses Teilmodell zielt auf eine interoperable Beschreibung von konkreten Zeitreihendaten für den gesamten Anlagenlebenszyklus ab, um Zeitreihen in ein großes ganzheitliches Bild einzupassen und ein besseres Verständnis komplexer Systeme zu erhalten, die Zeitreihendaten erzeugen und verarbeiten.

- (9) sind Teilmodellvorlagen (engl.: Submodel Templates, kurz: SMT). Um eine standardisierte Struktur der Teilmodelle zu gewährleisten, werden durch die IDTA standardisierte Teilmodellvorlagen bereitgestellt. Diese strukturieren die typspezifischen Eigenschaften und vordefinierte Werte, die auf Instanzebene noch individualisiert werden. Teilmodelle basierend auf dem Metamodell der Verwaltungsschale und werden sparsam für lebenszyklusübergreifende Daten angewendet. Für Details können Teilmodellvorlagen Detailmodelle referenzieren.
- (10) sind referenzierte konkrete Detailmodelle, dies können AutomationML-Modelle, Dokumente, Geometrien oder proprietäre Dateien sein. Die Separation von Teilmodellen und Detailmodellen wird empfohlen, um Doppelmodellierung und mehrfache Entwicklungsaufwände zu vermeiden und die Standardisierung der Teilmodelle zu vereinfachen.
- (11) sind Bibliotheken bzw. Vorlagen der jeweiligen Detailmodelle, das können beispielsweise AutomationML Bibliotheken oder Wörterbücher sein, oder Domänenmodelle anderer Anwendungszwecke. Aus AML Domänenbibliotheken werden z. B. die AutomationML-Detailmodelle erstellt.

Die Beziehungen zwischen diesen Elementen lassen sich wie folgt beschreiben: Teilmodelle sind von Teilmodellvorlagen abgeleitet. Detailmodelle werden aus Teilmodellen referenziert, deren Inhalte aus Detailmodellvorlagen gebildet werden. Auch Teilmodellvorlagen können Detailmodelle referenzieren, beispielsweise ein vordefiniertes Typmodell eines Assets im Detail.

3.3 Big Picture Teil 3: der Informationshaushalt der Produktion

14 zeigt den dritten Schwerpunkt des Big Pictures: der Informationshaushalt in der Produktion.

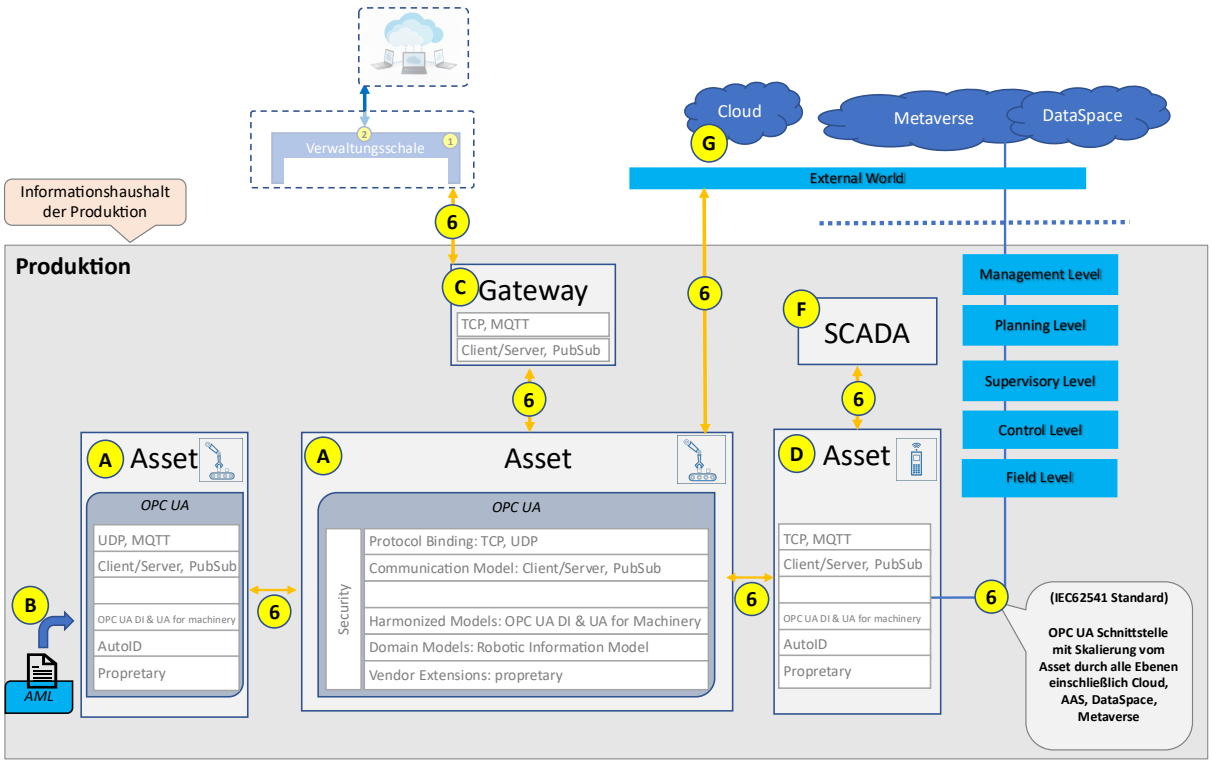


Abbildung 13: Big Picture Teil 3 – Informationshaushalt in der Produktion

Hier liefern OPC UA und die entsprechende Companion Specifications wichtige vier Bausteine für die Interoperabilität, die im Folgenden näher erläutert werden:

- (1) Flexible Transportmöglichkeiten mit integrierter Security von
- (2) Domain spezifischen,
- (3) harmonisierten und
- (4) herstellerspezifischen Informationen

(1) Flexible Transportmöglichkeiten

14Durch die OPC UA Kommunikation werden vielfältige OPC UA Transportmöglichkeiten in einem modernen Informationsnetzwerk (Mesh) geboten. OPC UA fähige Geräte oder Softwaredienste können flexibel Kommunikationsszenarien mit integrierter IT Security abbilden und dabei auch Kommunikations-Ebenen überspringen. Die OPC UA Kommunikation deckt alle Verbindungen vom Feld bis in die Cloud, DataSpace, Metaverse – kurz der IT-Ebene – ab. Dabei werden Informationen über verschiedene Protokolle mit unterschiedlichen Kommunikationsmustern übertragen:

- (A) Zwei Feldgeräte (zwei Roboter) tauschen per OPC UA over UDP schnell Daten horizontal miteinander aus
- Der Roboter entnimmt der (B) AutomationML-Datei seine OPC UA FX Kommunikations-Parameter.
- Ein Feldgerät (Roboter) kommuniziert per OPC UA over TCP-Daten mit einem (C) Gateway
- Das Gateway leitet Informationen per OPC UA over MQTT an IT-Applikationen (Verwaltungsschale, DataSpaces, Metaverse, etc.) weiter
- Ein Roboter liest Daten von einem (D) RFID-Reader welcher eine OPC UA Server Schnittstelle anbietet. Ebenso agiert der Reader als OPC UA Publisher um Daten auch per OPC UA over MQTT an die Cloud Applikationen weiterzuleiten
- Ein RFID-Reader stellt Daten (als OPC UA Server over TCP) einem (F) SCADA System zur Verfügung, aber parallel (per OPC UA over MQTT) auch einem (G) Cloud-Dashboard.

(2) Domain spezifische Informationen

Stand April 2023 stehen 85 Domain spezifische Informationsmodelle öffentlich und kostenlos zur Verfügung. Als Beispiel bietet:

- der Roboter per OPC UA Server die in der Companion Specification “OPC 40010-1 Robotics - Vertical Integration” standardisierten Informationen an.
- der RFID-Reader per OPC UA Server die in der Companion Specification “OPC 30010 AutoID Devices” standardisierten Informationen an.

(3) Harmonisierte Informationen

Sowohl der Roboter als auch der RFID-Reader bieten die harmonisierten “OPC UA DI” und “OPC UA for Machinery” Informationen an: Für branchenübergreifende Interoperabilität erleichtert eine übergeordnete OPC UA Companion Specification das Engineering und somit die schnellere Integration: Die Building Blocks beschreiben hierbei anwendungsfallbezogene Informationsmodelle zur Identifikation von Maschinen und Komponenten. Des Weiteren wird der Maschinenzustand in Bezug auf Verfügbarkeit und Betriebsart einheitlich beschrieben. Dies liefert Basisdaten für die Berechnung von Key Performance Indicators (KPI) nach ISO 22400. In Abstimmung befinden sich gerade neue Building Blocks für Job-Management und Energiemanagement. Die “OPC UA for Machinery” ermöglicht somit eine einheitliche Integration von Maschinen und Anlagen in vertikale Systeme wie SCADA, MES, ERP oder in eine IoT-Plattform.

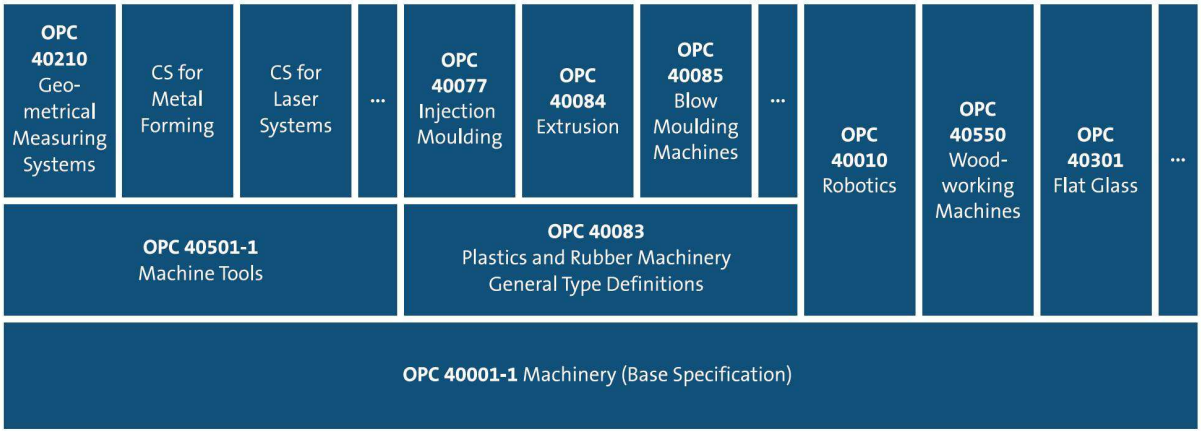


Abbildung 15: Harmonisierte Informationen am Beispiel der "OPC UA for machinery"

(4) Herstellerspezifische Informationen

Komponenten- und Maschinenhersteller können über die standardisierten Informationsmodelle hinausgehende eigene Informationen per OPC UA verfügbar machen, um beispielsweise besser Predictive Maintenance gewährleisten zu können. Die Entscheidung für den Zugriff auf diese weiteren Informationen ist dem Hersteller vorbehalten und bietet das Fundament für neue Geschäftsmodelle.

3.4 Das Big Picture in der Gesamtsicht

Abbildung 16 fasst alle drei Sichten aus den Abschnitten 3.1-3.3 in einem Gesamtbild zusammen und illustriert das Zielbild. Aus der Integration der Verwaltungsschale, AutomationML und OPC UA entsteht eine umfassende vereinheitlichte digitale Interoperabilitätslösung für Geräten, Software, und allgemein zwischen Assets während ihres gesamten Lebenszyklus. Die Verwaltungsschale steht dabei nicht in Konkurrenz zu anderen Interoperabilitätstechnologien, sondern ergänzt diese.

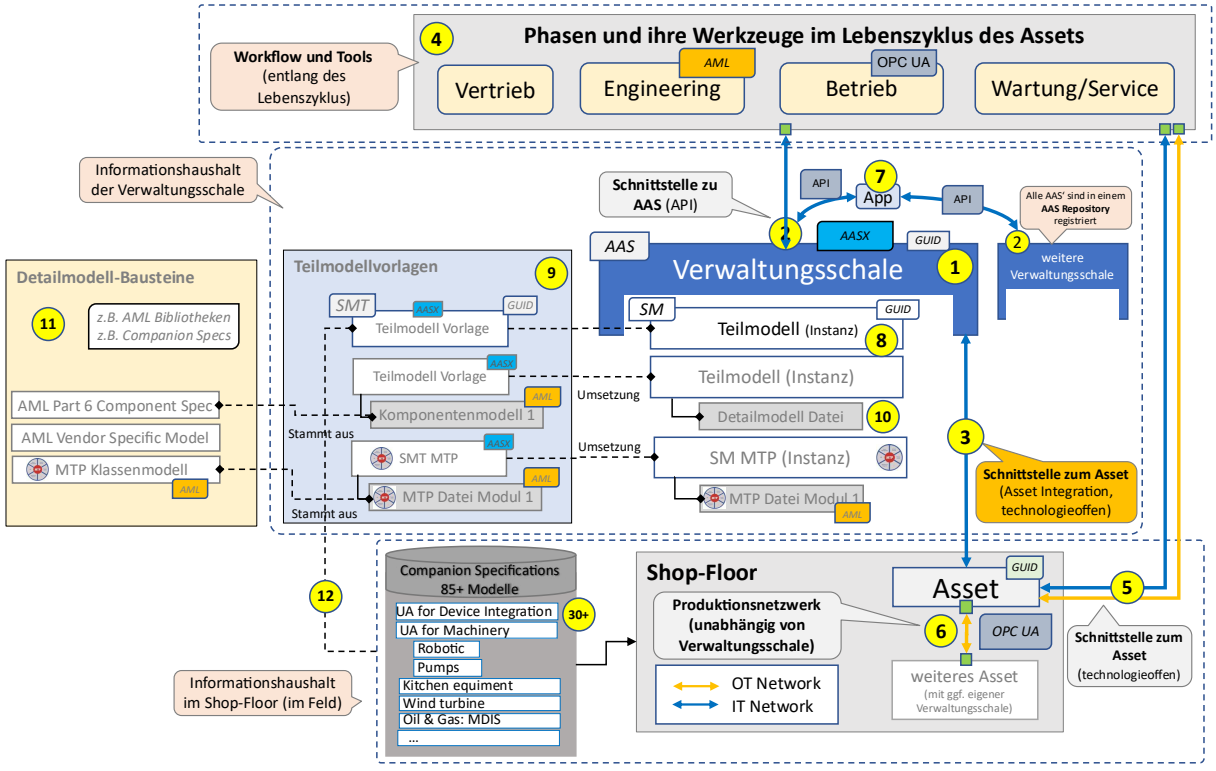


Abbildung 16: Das Big Picture Interoperabilität mit AutomationML, OPC UA und AAS in einer Gesamtübersicht

Tabelle 3 erläutert die Aspekte des Big Pictures aus der Perspektive eines intelligenten Assets.

Tabelle 3: Aspekte der Interoperabilität aus Sicht eines intelligenten Assets

1	Die *Verwaltungsschale (AAS)* ist eine digitale Repräsentanz des Assets (Typen oder Instanzen), die im Netz auffindbar ist. Verwaltungsschalen sind in einer AAS Registry registriert und in einem AAS Repository findbar und erkundbar. Sie kann auch als passive AASX-Datei ohne Softwarefunktionen vorliegen.
2	Mittels *der standardisierten AAS Schnittstelle (API) (April 2023: REST API)*, kann auf die AAS und ihre Inhalte (Daten, Dokumente, Funktionalität) zugegriffen werden.
3	Mittels der *Asset Integration* kommuniziert die AAS mit ihrem zugehörigen Asset. Die technische Implementierung dieser Schnittstelle ist technologieoffen. Eine Umsetzung mittels etablierter Interoperabilitäts-Standards wie OPC UA wird empfohlen.
4	*Software-Werkzeuge* aus allen Phasen im Lebenszyklus des Assets können über die AAS API 2 (April 2023: REST API) auf die AAS zugreifen, sie erkunden und erforderliche Daten abrufen, oder Daten in die Verwaltungsschale einspeisen, z. B. ERP, PDM, PIM usw.
5	Eine separate direkte Kommunikation außerhalb der AAS zwischen Software-Werkzeugen mit dem Asset ist unabhängig von der AAS technologieoffen weiterhin möglich. Eine Umsetzung mittels etablierter Interoperabilitäts-Standards wie OPC UA wird empfohlen.
6	In der Produktion kommunizieren die Assets im klassischen Produktionsnetzwerk unabhängig von der AAS mit hoher Verfügbarkeit und/oder Echtzeit z. B. über Feldbusse oder OPC UA.
7	Über eine Applikation, z. B. einen Agenten, können Informationen aus Typ 2 Verwaltungsschalen ausgelesen und verarbeitet werden. Der Datenzugriff erfolgt mit Hilfe ihrer API gemäß „Details of AAS Part 2“.
8	Dies sind konkrete *Teilmodellinstanzen* der AAS. Sie werden aus Teilmodellvorlagen (9) gebildet und spezifizieren die individuellen Merkmale und Detailmodelle eines Assets. Teilmodelle können verteilt gespeichert werden, gehören aber logisch zusammen und bilden daher ein verteiltes logisches Repository. Teilmodellinstanzen werden über die AAS öffentlich zugänglich und erkundbar und werden via AAS modelliert. Teilmodelle können Detailmodelle referenzieren, beispielsweise eine AutomationML-Datei, ein PDF oder ein Simulationsmodell.
9	Mit Hilfe von *Teilmodellvorlagen* werden gemeinsame Informationen eines Asset-Typs mittels des AAS Metamodells semantisch und syntaktisch vormodelliert. Merkmale und Detailmodelle, die sich von Asset zu Asset unterscheiden können, werden hier jedoch nicht definiert, dies erfolgt an den konkreten *Teilmodellinstanzen*. *Teilmodellvorlagen* werden von der IDTA zur Verfügung gestellt und modellieren sparsam[1] wesentliche lebenszyklusübergreifende Informationen. Teilmodellvorlagen können Detailmodelle referenzieren, z. B. AutomationML oder Simulationsmodelle. Beispiele für Teilmodellvorlagen (en: Submodeltemplate = SMT) sind: • *Digital Nameplate for Industrial Equipment*: Diese Teilmodellvorlage zielt darauf ab, den jeweiligen Verwaltungsschalen interoperable Asset-Typenschild-Informationen zur Verfügung zu stellen, damit sie auf sinnvolle Weise zwischen Partnern in einem Wertschöpfungsnetzwerk ausgetauscht werden können. • *AAS OPC UA Server Data Sheet*: Diese Teilmodellvorlage beschreibt Daten eines OPC UA Servers, welcher mit einem Asset bereitgestellt wird. Dies beinhaltet Informationen zum Auffinden des OPC UA Servers und Informationen über den im OPC UA Server

[1] So viel wie nötig, aber so wenig wie möglich, siehe Handlungsempfehlung 3.

	implementierten Inhalt (verwendete Namespaces, implementierte Profile/Facetten/CUs, ...) und Informationen über andere Quellen, in denen Beschreibungen verfügbar sind. Der Inhalt kann über den Lebenszyklus aktualisiert werden. • *Inclusion of Module Type Package (MTP) Data into Asset Administration Shell:* Diese Teilmodellvorlage beinhaltet eine Referenz auf PEA- (Instanz) und MTP- (Typ) Informationen und enthält darüber hinaus die Merkmale der späteren Modulinstanzen.
10	Referenzierte Detailmodelle speichern individuelle Detailinformationen und werden aus Bibliotheken/Vorlagen der jeweiligen Detailmodell-Technologie gebildet, z. B. aus AutomationML-Komponentenbibliotheken. Diese Detailmodelle werden von den AAS Teilmodellen referenziert. Hier werden individuelle Informationen des zugehörigen Assets gespeichert. Detailmodelle können unabhängig von der Verwaltungsschale existieren und auch in separaten Workflows verarbeitet werden. Zur Herstellung von Datenkonsistenz können sich 9 und 11 gegenseitig referenzieren. Damit ein Endanwender die Formate der Detailmodelle nicht kennen muss, bietet eine AAS Implementierung idealerweise Softwarefunktionen, die die Inhalte aus den Detailformaten selbständig auslesen können, ohne dass die Endanwendersoftware die Formate beherrschen muss.
11	Hier werden Bibliotheken oder Vorlagen für die jeweiligen Detailmodelle definiert. Dies erfolgt außerhalb der Verwaltungsschale in jeweiligen anwendungs- oder branchenspezifischen Organisationen. In Spezifikationen und Bibliotheken lassen sich vordefinierte Klassen oder Artefakte vordefinieren, für die bereits etablierte Datenformate oder Modellierungssprachen existieren und die aus vielfältigen Gründen nicht in AAS Teilmodellen modelliert werden sollen. Beispiele sind domänenspezifische Klassenbibliotheken.
12	In der Phase des Engineerings können Informationen, die bereits in OPC UA Companion Specifications vorhanden sind, aus einem Teilmodell referenziert werden.
30+	Standardisierte Informationsmodelle sind der Schlüssel für effiziente Integration, Schnittstellenentwicklung und Datenweiterverarbeitung. Das OPC UA Framework bietet diese Modellierungsmöglichkeiten mit integriertem Zugriffsschutz.

Mit Hilfe der erläuterten Aspekte wird die AAS zu einer Lebenszyklus-Akte (Datendrehscheibe), die einen vereinheitlichten Zugang zu Daten ihres Assets ermöglicht und gemeinsam mit den Technologien OPC UA und AutomationML die Interoperabilität entlang des Lebenszyklus mit einer Fülle nützlicher Anwendungsfällen im Vertrieb, Engineering, Betrieb und darüber hinaus erleichtert.

4 Handlungsempfehlungen für das Zusammenspiel von AAS, AML und OPC UA

Aus dem Zielbild nach Abbildung 16 leiten die an diesem Diskussionspapier beteiligten Organisationen AutomationML e.V., IDTA, OPC Foundation und VDMA. sowie die beteiligten Unternehmen folgende Handlungsempfehlungen ab. Die genannten Empfehlungen und Technologien sind dabei nicht als Technologie-Vorschrift zu verstehen, sondern zeigen ein Zielbild der beteiligten Verbände, wie sich die konkreten Technologien AAS, OPC UA und AML gegenseitig ergänzen.

4.1 Handlungsempfehlung #1: Wildwuchs vermeiden

Für die standardisierten Informationsmodelle, speziell AAS Teilmodellvorlagen, OPC Companion Specifications und AutomationML Domänenmodelle, ist innerhalb der Organisationen und Verbände eine zugängliche, transparente und geregelte Entwicklung und Zertifizierung erforderlich.

4.2 Handlungsempfehlung #2: Referenzieren, um Re-Modellierung zu vermeiden

Existierende Formate und Informationsmodelle wie AutomationML, OPC UA Companion Specifications, AAS Teilmodelle etc. sollen nicht erneut modelliert werden. Wir empfehlen, stattdessen Bedarfe an die jeweilige Standardisierungsorganisation zu melden. Wenn es bereits etablierte Formate oder Informationsmodelle gibt (AAS-Teilmodelle, OPC UA Companion Specifications, AutomationML), soll auf diese referenziert werden. Für die Etablierung von Technologien ist es hinderlich, dieselben Daten mit unterschiedlicher Syntax und Semantik erneut darstellen zu wollen oder zu müssen.

4.3 Handlungsempfehlung #3: Gezielter und sparsamer Datenhaushalt

Wir empfehlen, für die Entwicklung von AAS-Teilmodellen die IDTA-Guidelines anzuwenden, damit AAS-Teilmodelle so erstellt werden, dass sie gezielt wesentliche und lebenszyklusübergreifende Informationen enthalten. Um die Standardisierung und Harmonisierung von AAS Teilmodellen zu vereinfachen, sollen sie nicht mit Details überladen werden. Kurze und knappe Use Cases sollen die Notwendigkeit der AAS Teilmodelle und ihrer Informationen belegen. Die Modellierung soll so umfangreich wie nötig und zugleich so sparsam wie möglich erfolgen.

4.4 Handlungsempfehlung #4: Referenzieren statt Speichern von Detailinformationen

Wir empfehlen, bei technologiebezogenen Detailinformationen auf etablierte Datenformate zu referenzieren. Die AAS soll Datenräume zusammenbringen und einen Datenaustausch ermöglichen, ist aber nicht als Datenbank für alle Arten von Informationen zu verstehen.

Wir empfehlen, Detailinformationen nicht zu duplizieren, sondern wenn möglich zu referenzieren, und dabei von Verbänden gepflegte Datenformate und -Modelle wiederzuverwenden. Diese können innerhalb der AAS oder unabhängig von der AAS gespeichert werden und aus AAS-Teilmodellen auf diese referenziert werden. Solche Detailinformation können z. B. in AutomationML oder in Simulationsmodellen enthalten sein.

4.5 Handlungsempfehlung #5: Die AAS im RAMI 4.0 Modell

Wir empfehlen, die Typ 2 AAS in der *Connected World* (siehe RAMI4.0) zu positionieren, aber nicht im klassischen produktiven Feldgerät. Kritische Daten sollten nicht in einer Infrastruktur gespeichert werden, die potenziell ausfallen kann. Der Ausfall einer AAS sollte nicht zum Ausfall seines Assets führen und umgekehrt.

4.6 Handlungsempfehlung #6: Austausch lebenszyklusübergreifender Produktinformationen

Wir empfehlen die Verwendung der AAS zur Bereitstellung von lebenszyklusübergreifend relevanten Informationen, z. B. Vertriebsdaten, Technische Daten, CO2 Fußabdruck des hergestellten Produktes als Summe seiner Teilprodukte. Die AAS kann mit ihrem AAS API (April 2023: REST API) Daten für die Connected World bereitstellen.

4.7 Handlungsempfehlung #7: Modellieren und Austausch operativer dynamischer Daten

Wir empfehlen OPC UA für den *operativen* Datenzugriff zu verwenden. Dies umfasst die Kommunikation zwischen Maschinen sowie zwischen Maschinen und IT bis in digitale Zwillinge, Dataspaces und Metaverses. Dies beinhaltet die Verwendung der in den OPC UA Companion Specifications verwendeten Modelle und Semantiken.

4.8 Handlungsempfehlung #8: Speichern und Verbreiten von Engineering-Daten

Wir empfehlen die Verwendung von AutomationML für den herstellerneutralen Datenaustausch von Objektmodellen im Engineering. In Domänen, in denen Engineering-Modelle vorliegen, die nicht auf AutomationML basieren, bietet die AutomationML Technologie die Möglichkeit der Einbindung in das AutomationML-Gesamtmodell, ohne hierbei eine Standardisierung zu verlangen. Beispiele hierfür sind OPC Nodeset-Dateien (offline-Konfigurationsdateien von OPC UA Feldknoten), Gerätebeschreibungsdateien oder plattformunabhängige Textdokumente, die via Referenzen verlinkt werden können.

4.9 Handlungsempfehlung #9: Einfacher Datendurchgriff

Wir empfehlen, bei der Entwicklung von Verwaltungsschalen Mechanismen bereitzustellen, die einen einfachen und direkten Zugriff von der AAS auf referenzierte Detailinformationen ermöglichen. Dies erleichtert den direkten Zugriff auf referenzierte Inhalte der Detailmodelle. Dies bedeutet z. B., dass AAS Implementierungen AutomationML Detailmodelle selbst öffnen und gewünschte Inhalte auslesen können.

4.10 Handlungsempfehlung #10: Vermeidung von Kompetenzkonflikten

Wir empfehlen, Hoheitskonflikte bei der Datenmodellierung zu vermeiden, indem Daten von Experten in derjenigen Domäne definiert und standardisiert werden, in der sie ursprünglich auftreten oder bereits definiert wurden. Für die Etablierung von Technologien ist es hinderlich, dieselben Daten mit unterschiedlicher Syntax und Semantik erneut darzustellen. Verbände sind aufgefordert, in diesem Sinne zusammenzuarbeiten.

- Für die Bereitstellung von relevanten lebenszyklusübergreifenden Produktinformationen empfehlen wir die Standardisierung von AAS-Teilmodellen.
- Wie empfehlen, für den Zugriff auf Informationen aus dem Betrieb von Assets oder Diensten und ihre zugehörigen Metadaten OPC Companion Specifications zu verwenden bzw. zu standardisieren. Beispielsweise wird über OPC UA standardisiert beschrieben, wo Energieverbrauchswerte in Maschinen verortet sind, und können somit den Use-Case des CO2 Fußabdrucks in der AAS unterstützen.
- Für die Bereitstellung und den Austausch von Typ- und Objektmodellen im Engineering empfehlen wir die Verwendung von AutomationML und die Standardisierung von Domänenmodellen in AutomationML-Bibliotheken. Beispiele sind Strukturmodelle für Automatisierungskomponenten, Topologiemodelle für Anlagen, Hardwaretopologien, vernetzte Systemmodelle von Automatisierungsanlagen usw. Entstehen im Engineering lebenszyklusübergreifende Informationen, ist ihre Veröffentlichung in der AAS empfehlenswert, insbesondere wenn hierfür standardisierte AAS-Teilmodelle bereitstehen.
- Weitere Informationsmodelle für unterschiedliche Anwendungsfälle, die eine Standardisierung anstreben, sollen nicht zu Doppelmodellierungen gegenüber den anderen Interoperabilitätstechnologien führen.
- Für die Erprobung und Entwicklung neuer Anwendungsfälle und Innovationen sind nichtstandardisierte proprietärer AAS-Teilmodelle, OPC UA Datenmodelle oder AutomationML Klassenmodelle sinnvoll. Diese stehen allerdings außerhalb der jeweiligen Industrie 4.0-Standards. Wir empfehlen, diese anschließend in einen Standardisierungs- und Harmonisierungsprozess zu überführen, um die Interoperabilität im Sinne von I4.0 zu gewährleisten. Nur offizielle harmonisierte und zertifizierte Dokumente sollten von den Organisationen als solche ausgewiesen werden.
- Das Referenzieren proprietärer Detailmodelle aus einem AAS-Teilmodell ist explizit erlaubt und für kommerzielle Anwendungen und wettbewerbliche Zwecke und Innovationen sinnvoll und teilweise notwendig. Beispiele sind proprietäre Simulationsmodelle, Funktionsbausteine usw.

5 Zusammenfassung

Dieses Papier wurde mit Unterstützung der Verbände AutomationML e.V., IDTA, OPC Foundation und VDMA entwickelt, um Orientierung und Anwendungsempfehlungen für Interoperabilität zu geben. Es beschreibt ein "großes Bild der Interoperabilität", das zeigt, wie die Technologien AAS, AML und OPC UA zusammenpassen, sich gegenseitig ergänzen und wie Interoperabilität über Domänen hinweg durch kombinierte Anwendung in der industriellen Automatisierung erreicht werden kann. Darüber hinaus geben die Autoren konkrete Anwendungsempfehlungen für Forscher, Manager, Entwickler und Anwender interoperabler Systemlösungen und liefern Hinweise für den Einsatz der genannten Technologien.

Die Kernaussagen dieses Papiers sind: Bei entsprechender Anwendung ergänzen sich AML, OPC UA und AAS gegenseitig. Dies vermeidet Doppelarbeit und Modellüberschneidungen und reduziert den Entwicklungsaufwand. Interoperabilität wird nicht durch ein einziges Weltmodell erreicht, sondern durch eine geschickte Kombination verschiedener Standards, die die Domänenmodelle der entsprechenden Domänenexperten bereitstellen. Die Verbände und Organisationen erklären in diesem Diskussionspapier ihre Bereitschaft zur Zusammenarbeit, um eine doppelte Standardisierung im Interesse ihrer Mitglieder und der Industrie zu vermeiden. Weitere Verbände, Forschung und Industrie sind eingeladen, die hier vorgestellte Informationsverteilung weiter zu verfeinern und zu verbessern.