

Industrie 4.0 Interoperabilität durch OPC UA mit Companion Specifications

Mehrwerte für Stakeholder des Maschinen- und Anlagenbaus



in Kooperation mit

Supported by:
 Federal Ministry
for Economic Affairs
and Climate Action

on the basis of a decision
by the German Bundestag

 **FKM**
Forschung im VDMA

 **PW**
TU DARMSTADT

 **VDMA**

Editorial



Johannes Olbort

Interoperabilität ist eine der wichtigsten Säulen der digitalen Transformation und Teil der Vision 2030 der Plattform Industrie 4.0. Erfolgsentscheidend für die digitale Transformation eines jeden Unternehmens ist jedoch nicht der technologische Reifegrad der Digitalisierung, sondern die zielgerichtete Nutzung bestehender Digitalisierungslösungen, -konzepte und hierfür relevante Standards. Letztere sollten bewusst gewählt und möglichst flächendeckend genutzt werden. Die entscheidende Frage ist in diesem Zusammenhang, welche Mehrwerte sich durch den Einsatz der jeweiligen Standards realisieren lassen. Es gilt, sowohl auf Herstellerseite als auch Betreiberseite, relevante Anwendungsfälle durch Nutzung von Standards effizienter, skalierbarer, sicher und letztendlich schneller bzw. somit kostenoptimaler umzusetzen.



Andreas Faath

Eine für den Maschinen- und Anlagenbau, sowie seine Kundenindustrien, im Fokus stehende Interoperabilitätslösung sind standardisierte Schnittstellen auf Basis der OPC UA Technologie. Dazu gehören, neben der sicheren von der Produktion bis in die Cloud skalierbaren Kommunikation über OPC UA, auch die sogenannte OPC UA Companion Specifications (CS) für die präzise Standardisierung von Produktionsinformationen und den zugehörigen Metadaten. Die Weltsprache der Produktion bestehend aus Grammatik (OPC UA) und Vokabular (OPC UA CS) ist bereits heute real verfügbar und wächst rasant. Die OPC UA for Machinery mit ihren zahlreichen Building Blocks ist eine zentrale Grundlage für die Entwicklung der vielen domänenspezifischen Companion Specifications.

Der Leitfaden „Industrie 4.0 Interoperabilität durch OPC UA mit Companion Specifications – Mehrwerte für die Stakeholder des Maschinen- und Anlagenbau“ schließt die Lücke zwischen den verfügbaren sowie in Erarbeitung befindlichen Entwicklungen und den realisierbaren Szenarien für die diskrete und kontinuierliche Fertigung. Es werden für die einzelnen Rollen in Unternehmen konkrete Vorteile und Mehrwerte aufgezeigt. Als ein Leitfaden zum Thema Interoperabilität bauen die Inhalte auf der Neuauflage des Leitfadens „Industrie 4.0 Kommunikation mit OPC UA – Leitfaden zur Einführung in den Mittelstand“ von 2023 auf und geben somit ein umfassendes Gesamtbild, wie Interoperabilität im Maschinen- und Anlagenbau mehrwertbringend eingesetzt werden kann. Experten aus der Industrie und Forschung haben die zentralen Anwendungsfälle Asset Management, Machine & Component Monitoring, KPI Berechnungen wie OEE, Job sowie Energy Management identifiziert und veranschaulichen den konkreten Einsatz von OPC UA mit Companion Specifications aus Sicht der herstellenden und betreibenden Unternehmen.

Ausdrücklicher Dank gebührt Prof. Dr.-Ing. Matthias Weigold und Martin Lindner vom Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der Technischen Universität Darmstadt für die wissenschaftliche Ausarbeitung des Leitfadens sowie den beteiligten VDMA-Mitgliedern für Ihr Engagement.

Wir wünschen Ihnen eine interessante und inspirierende Lektüre.

Johannes Olbort

VDMA, Projektleiter II4IP

Andreas Faath

VDMA, Abteilungsleiter MII

Vorwort



Prof. Dr.-Ing. Matthias Weigold

Im Jahr 2017 hat der VDMA den Praxisleitfaden Industrie 4.0-Kommunikation mit OPC UA“veröffentlicht. Hier lag das Augenmerk sowohl auf der Erläuterung von Basisfunktionalitäten als auch auf ersten Darstellungen hinsichtlich der Erstellung und der Anwendung von Informationsmodellen.

Der Standard Open Platform Communications Unified Architecture“(OPC UA) hat in den letzten Jahren erfreulicherweise weltweite Akzeptanz gefunden. Aus diesem Grund wird auch häufig von der Weltsprache der Produktion“gesprochen. Hervorzuheben sind hierbei der interoperable und sichere Zugriff auf Daten und Services von Steuerungen und Geräten in der vernetzten Produktion. Eine durch das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) im Jahr 2022 durchgeführte Sicherheitsanalyse hat gezeigt, dass OPC UA ein hohes Maß an Sicherheit mit sich bringt. Weiterhin bietet OPC UA Vorteile bei der einfachen und schnellen Integration von Komponenten in Maschinen oder gar von vollständigen Maschinen in kompletten Produktionsanlagen.

Über diese bekannten Vorteile hinaus stellt sich die Frage nach konkreten Mehrwerten sowohl für maschinen- und anlagenherstellende Unternehmen als auch für produzierende Firmen, sprich maschinen- und anlagenbetreibende Unternehmen. Was ist das sogenannte Nutzenversprechen hinsichtlich der Steigerung der Wertschöpfung dieser beiden Nutzergruppen?

Im Rahmen des vorliegenden Leitfadens werden aufbauend auf den Technologien und Entwicklungsphasen der OPC UA Companion Specifications, deren Mehrwerte für Unternehmen und deren Mitarbeitende exemplarisch anhand von zwei repräsentativen industriellen Anwendungsszenarien vorgestellt.

Die OPC UA Companion Specifications bieten Mehrwerte für ein breites Anwendungsspektrum über alle Branchen hinweg. Ein Thema, welches in den letzten Jahren immer mehr an Relevanz gewonnen hat, ist das Energiemanagement, welches aufgrund der gewünschten Durchgängigkeit zukünftig hochautomatisiert ablaufen muss. Darüber hinaus greift der Leitfaden im zweiten Szenario die ebenfalls automatisierte, jedoch gleichermaßen flexibilisierte Qualitätskontrolle heraus. Die Beispiele zeigen, dass zum einen in der Prozessindustrie sowie zum anderen in der diskreten Fertigung, die Standardisierung mit OPC UA branchenübergreifenden Nutzen bringt.

Abschließend gibt der Leitfaden noch einen Einblick hinsichtlich des Zusammenspiels von OPC UA und der Asset Administration Shell (AAS) sowie der potenziellen Rolle von OPC UA in den derzeit entstehenden souveränen digitalen Ökosystemen am Beispiel Gaia-X.

Ganz herzlich bedanken möchte ich mich bei Johannes Olbort und Thomas Dasbach vom VDMA sowie Stefan Hoppe von der OPC Foundation für die ausgezeichnete Unterstützung. Ebenso möchte ich mich an dieser Stelle bei allen Firmenvertretern, allen voran Bernd Fiebiger und Eugen Schibli bedanken, welche während der Erstellung des Leitfadens mitgewirkt haben.

Schlussendlich möchte ich einen besonderen Dank an Martin Lindner, Tuğrul Öztürk, Robin Zink, Viktor Berchtenbreiter, Willi Wünschel und Tim Frieß vom PTW richten. Sie haben als Autorenteam einen rundum gelungenen Leitfaden verfasst.

Ich wünsche Ihnen spannende Einblicke bezüglich der aktuellen Technologie und der Entwicklungen der OPC UA Companion Specifications und hoffe, dass durch diesen Leitfaden die Mehrwerte für Ihr Unternehmen sichtbar werden.

Es grüßt Sie herzlichst,

Prof. Dr.-Ing. Matthias Weigold

Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) Technische Universität Darmstadt

Management Summary

Der vorliegende Leitfaden zeigt anhand von zwei Anwendungsbeispielen aus der Praxis die Mehrwerte der OPC UA Companion Specifications (CS) auf. Es wird eine Entscheidungshilfe über die Einführung bzw. Ausweitung des Einsatzes von OPC UA CS durch unterschiedliche Perspektiven gegeben.

Die Digitalisierung schreitet mit immer höherer Geschwindigkeit voran. Mit dieser Herausforderung sehen sich unter anderem die produzierenden Unternehmen konfrontiert, insbesondere durch die Anforderungen einer nachhaltigen und zugleich resilienten Produktion.

Die wettbewerbsfähige Produktion erfordert im Zeitalter der Industrie 4.0 nicht nur die Vernetzung zwischen Maschinen und Anlagen, sondern auch deren Interoperabilität.

Die Integration der Industrie 4.0-Kommunikation durch OPC UA in Unternehmen erfolgt in den drei Migrationsschritten Informationszugriff, OPC UA Companion Specification und erweitertes Informationsmodell. Hierzu wurde im ersten VDMA-Leitfaden (VDMA, 2017) ein Werkzeugkasten vorgestellt, der die Anforderungen für die Industrie 4.0-Kommunikation mit OPC UA je nach Anwendungsfall aufzeigt. Hierbei beschränkt sich OPC UA nicht nur auf Greenfieldanlagen, sie kann durch Software- und Hardwarelösungen auch in der Brownfieldumgebung eingesetzt werden.

Der Informationsaustausch sowie -zugriff der Industrie 4.0-Kommunikation über OPC UA entspricht den Anforderungen der Cybersecurity.

OPC UA Client-Server Kommunikation besteht aus zwei Schichten, die jeweils über integrierte Sicherheitsfunktionen verfügen. Die Transportschicht stellt einen sicheren Kanal zwischen

dem Client und dem Server her, indem sie Verschlüsselung, Signaturen und digitale Zertifikate verwendet. Die Sitzungsschicht authentifiziert den Benutzer und verifiziert die Berechtigungen.

Die Interoperabilität zwischen Maschinen und Anlagen unabhängig von Typ und Fabrikat erfordert eine industrielle Kommunikation mit einer einheitlichen Sprache für die Produktion.

Die Kommunikationsarchitektur OPC UA verfügt über ein Metamodell, welches die grundlegende Grammatik und Syntax definiert und ein Grundvokabular enthält. In den OPC UA Companion Specifications wird das Vokabular durch branchenübergreifende oder branchenspezifische Informationsmodelle erweitert.

Die OPC UA Companion Specifications sind das Vokabular der interoperablen Industrie 4.0 Kommunikation.

Der Einsatz von OPC UA Companion Specifications und die dadurch erzielte Interoperabilität bieten Mehrwerte in allen Branchen für maschinenherstellende Unternehmen, Unternehmen, welche Maschinen betreiben, aber auch für Unternehmen der Systemintegration. Für diese verschiedenen Stakeholder zeigt der Leitfaden die Mehrwerte der OPC UA CS aus den jeweiligen Perspektiven auf.

Die Mehrwerte durch den Einsatz der OPC UA Companion Specifications werden durch Zusammenarbeit erzielt.

Die branchenspezifische Standardisierung und domänenübergreifende Harmonisierung der OPC UA Companion Specifications erfolgt durch internationale Zusammenarbeit der verschiedenen Unternehmen. Hierfür

orchestriert der VDMA, in Kooperation mit der OPC Foundation, derzeit über 600 Unternehmen aus mehr als 35 Arbeitskreisen. Die Entstehung der OPC UA Companion Specifications erfolgt in mehreren Entwicklungsphasen innerhalb von branchenspezifischen, aber auch domänenübergreifenden Arbeitsgruppen, die vom VDMA und der OPC Foundation unterstützt werden.

Die OPC UA CS bieten Mehrwerte in allen Industrien und Gewerben.

Beispielhafte Einsatzmöglichkeiten und erzielbare Mehrwerte von OPC UA Companion Specifications werden anhand von Anwendungsszenarien im Leitfaden erläutert.

Das erste Szenario entstammt der Prozessindustrie und stellt einen Abfüllprozess dar. Der Fokus des Szenarios liegt auf der vertikalen Datenanbindung des Shopfloors über eine IT-Infrastruktur an verschiedene Managementsysteme wie ein Energiemanagementsystem. Die Funktionalität und Leistungsfähigkeit von Managementsystemen, wie beispielsweise Energiemanagementsystemen, basiert auf einer fundierten Datengrundlage. Die OPC UA CS ermöglichen die Bereitstellung dieser Datenbasis über standardisierte Informationsmodelle, wie z. B. zur Darstellung von Energieverbrauchsdaten. Das zweite Szenario erweitert anhand einer Produktionszelle im Kontext einer diskreten Fertigung die vertikale Integration aus dem ersten Szenario um die horizontale Integration und somit Interaktion der Maschinen und Anlagen.

Die Standardisierung der Informationsmodelle in OPC UA CS ermöglicht den Informationszugriff unabhängig von der Ausprägung der Geräte und bietet somit Mehrwerte für einen großen Stakeholderkreis über alle Unternehmensebenen hinweg.

Beispielhafte Einsatzmöglichkeiten und erzielbare Mehrwerte von OPC UA Companion Specifications werden anhand von Anwendungsszenarien im Leitfaden erläutert. Dies gewährleistet eine einheitliche Integration von Maschinen und Anlagen in das Unternehmensnetzwerk und begünstigt somit auch deren schnelle Inbetriebnahme.

Insbesondere der einheitliche Informationszugriff auf die Maschinen und Anlagen ermöglicht umfangreiche Zustands-, Prozess- und Qualitätsüberwachungen. Dies wiederum unterstützt eine effiziente und flexible Prozessplanung, was in Kosten-, Ressourcen- und Emissionseinsparungen für die Unternehmen resultiert.

OPC UA mit Companion Specifications ist ein Enabler für Applikationen in IT-Systemen.

OPC UA ist zu weiteren Industrie 4.0-Technologien komplementär. Zum einen lassen sich mit Hilfe von OPC UA die Daten und Informationen in der Asset Administration Shell, der digitalen Repräsentation eines Assets über dessen gesamten Lebenszyklus im Kontext von Industrie 4.0, um Produktionsdaten anreichern. Des Weiteren ermöglicht das Zurverfügungstellen von Teilmodellen der AAS unter anderem die unternehmens- und herstellerübergreifende Konfiguration und Integration von OPC UA-Servern, mit Hilfe des OPC UA Server Datasheets, in ein Netzwerk bereits vor der Auslieferung einer Maschine.

Die AAS ist das digitale Abbild des Assets im Lebenszyklus. OPC UA-Server bieten das digitale Abbild des Assets zur Laufzeit.

Im Hinblick auf aufkommende föderierte Datenökosysteme im Rahmen der Initiative Gaia-X fördern die OPC UA CS die semantische Interoperabilität dieser Datenräume. Grundlage hierfür sind die in den offen verfügbaren OPC UA CS enthaltenen Informationsmodelle, welche referenzierbar sind und so eine eindeutige und nachvollziehbare Selbstbeschreibung von Services zum sicheren und souveränen Datenaustausch ermöglichen.

OPC UA liefert mit seinen Companion Specifications eine wichtige Grundlage für Datenräume und digitale Ökosysteme.

1. Einleitung und Zielsetzung

Die Industrie 4.0-Kommunikation mit OPC UA stellt einen zentralen Bestandteil der heutigen Industrie 4.0-Konzepte dar. Im ersten Leitfaden des VDMA (VDMA, 2017) wird die Einführung von OPC UA als Kommunikationsarchitektur in die Produktion in drei Migrationsschritte unterteilt und in einem Werkzeugkasten, wie in Abbildung 1 dargestellt, festgehalten.

In Migrationsschritt 1 werden die Basisfunktionalitäten wie Transport, Sicherheit und Informationszugriff adressiert.

Die Transportschicht beschreibt hierbei den technischen Informationszugriff und definiert die unterschiedlichen auf dem Internet Protokoll (IP) basierenden Kommunikationsprotokolle mit den entsprechenden Kommunikationsarten. Aktuell unterstützt OPC UA die Kommunikationsarten nach dem Client-Server- sowie dem Publish-Subscribe-Modell. Die

Client-Server-Kommunikation ermöglicht den Datenaustausch zwischen einem OPC UA-Client und -Server mit Bestätigung des Nachrichtempfangs.

Andererseits wird von der Kommunikationsart Publish-Subscribe (Pub-Sub) gesprochen, wenn Teilnehmer nicht zur gleichen Zeit aktiv sind oder mehrere Sender und ein Empfänger beteiligt sind. Dies gilt auch umgekehrt.

Ein Beispiel, bei dem mehrere Sender mit einem Empfänger Informationen austauschen, sind Condition-Monitoring-Dienste in der Cloud. Hierbei senden die Maschinen- und Anlagen (Publisher) die Zustandsinformationen an einen Broker, welcher wiederum diese an die Abonnenten (Subscriber) weitergibt. Ein weiteres Beispiel stellt eine Produktionsmaschine dar, die den Materialdurchsatz mehreren Diensten im Unternehmen zur Verfügung stellt, wie z. B. dem Manufacturing Execution System (MES) oder dem Energiemanagement.

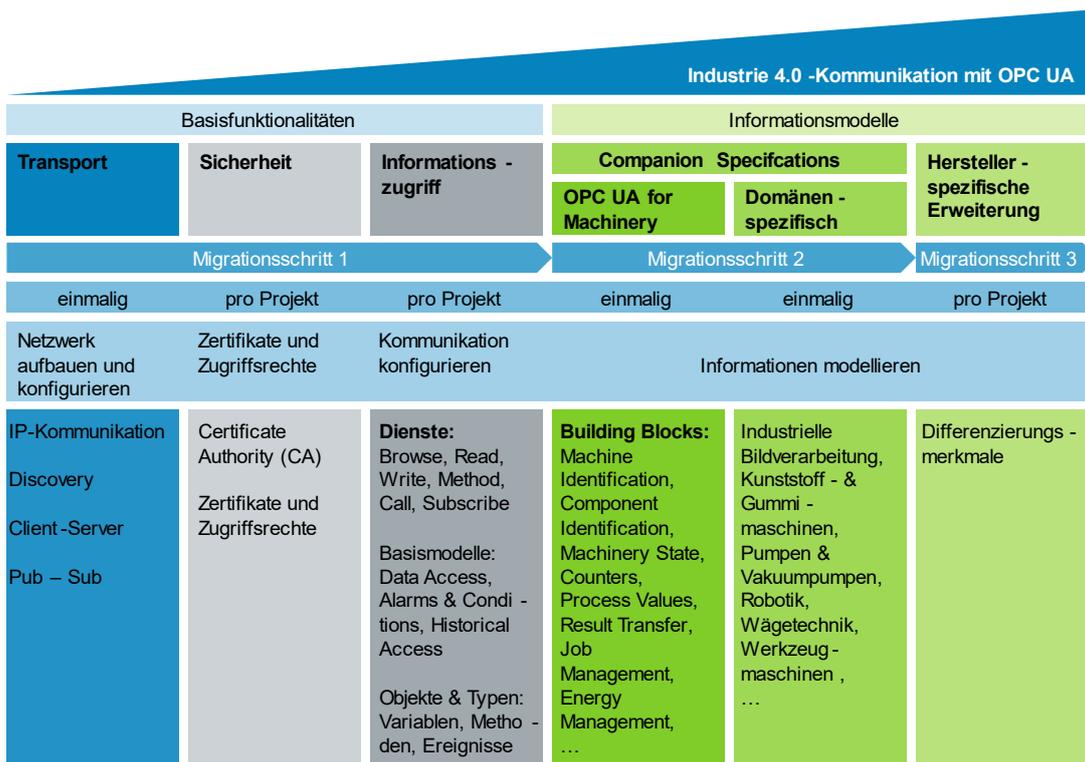


Abbildung 1: Werkzeugkasten der Industrie 4.0-Kommunikation mit OPC UA

Neben den beiden Konzepten zur Kommunikation zwischen OPC UA-Teilnehmern erlauben die Local Discovery Server (LDS) das Auffinden von OPC UA-fähigen Geräten im IP-fähigen Netzwerk und stellen die notwendigen Verbindungsinformationen für OPC UA-Clients zur Verfügung.

Mit Hilfe der Verbindungsinformationen können OPC UA-Clients die Verbindung zum OPC UA-Server auf den Geräten bzw. den Maschinen und Anlagen aufbauen. Der Informationszugriff wird hierbei über IT-Sicherheitsmechanismen geschützt, die ein zentrales Element von OPC UA sind und bereits seit Beginn der Entwicklung von OPC UA berücksichtigt wurden (vergleiche Abschnitt 2.1). Sie beruhen auf der Verwaltung von Zertifikaten und Zugriffsrechten. Die unternehmensweite Speicherung, Signierung und Ausstellung von Zertifikaten erfolgt durch die Certificate Authority (CA) Instanz. Die Vergabe von Zugriffsrechten definiert, welche Informationen von bestimmten Nutzern gelesen und geschrieben werden dürfen. Die in OPC UA implementierten IT-Sicherheitsmechanismen erlauben somit eine sichere Industrie 4.0-Kommunikation, die durch das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik bestätigt wurde (BSI, 2016).

Der Informationszugriff ermöglicht den Zugriff auf verschiedene Dienste wie z. B. das Lesen und Schreiben von Variablen, den Aufruf von Methoden oder das Abonnieren von Ereignissen.

Retrofit von Brownfield-Anlagen durch Gateways

Die Implementierung von OPC UA CS bei bestehenden Maschinen und Anlagen kann über Gateways realisiert werden. Bereits implementierte OPC UA-Server können mit einem Server Aggregator zusammengeführt werden. Ebenso ist eine Rückwärtskompatibilität wie beispielsweise mit der OPC Data Access (DA) Specification mittels OPC UA Wrapper möglich. Für proprietäre Schnittstellen sowie Datenanbindungen mit Feldbussen existieren Converter auf dem Markt. Eine Einbettung von Brownfield-

Anlagen kann somit durch das Nachrüsten von einem, beziehungsweise der Kombination mehrerer Gateways, erreicht werden (vgl. Abbildung 2).

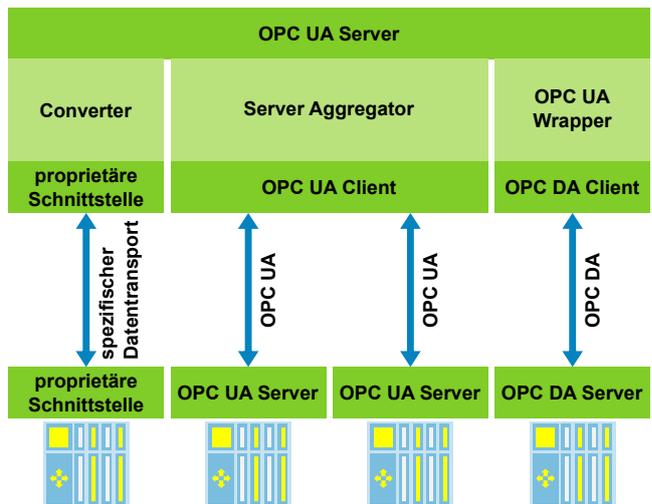


Abbildung 2: OPC UA Retrofit durch Gateways

Die Kommunikation in OPC UA erstreckt sich von der Unterstützung der zeitdeterministischen Kommunikation mittels Time-Sensitive-Networking (TSN) und der Funktionalen Sicherheit (OPC UA Safety) bis hin zur Feldebene (OPC Foundation, 2021b). Die OPC UA Foundation hat vier Jahre nach dem Projektstart im Rahmen der OPC Foundation's Field Level Communications (FLC) Initiative die ersten Spezifikationen für die OPC UA-Kommunikation in der Feldebene freigegeben. Diese haben den Fokus auf die horizontale Kommunikation zwischen Steuerungen (Controller-to-Controller) gelegt und werden als Basis für die Erweiterungen für die Use Cases Controller-to-Device (C2D) und Device-to-Device (D2D) verwendet. Die Freigabe erfolgte unter dem Namen OPC UA Field exchange (OPC UA FX) und soll die Interoperabilität und Integration von Feldgeräten und Anlagen in der Industrie 4.0 verbessern (OPC Foundation, 2021a).

Im Migrationsschritt 2 werden im Werkzeugkasten OPC UA die Informationsmodelle adressiert.

Für die interoperable Industrie 4.0-Kommunikation in horizontaler sowie vertikaler Richtung zwischen verschiedenen OPC UA fähigen Geräten, wie z. B. Maschinen und Anlagen oder Softwaresystemen wie MES und ERP, ist eine Standardisierung der Informationsmodelle notwendig. Die Unterstützung zur Implementierung von Informationsmodellen in OPC UA ermöglicht die semantische Beschreibung von Geräteinformationen sowie ihrer Fähigkeiten. Diese Informationsmodelle sind Netze aus Knoten und Beziehungen zwischen diesen Knoten. Mit Hilfe der Knoten werden durch Objekte Informationen zur Beschreibung eines Gerätes oder eine Maschine modelliert. Die Standardisierung dieser Informationsmodelle erfolgt branchenspezifisch und wird in den OPC UA Companion Specifications festgehalten (vergleiche Abschnitt 2.2). Als Beispiele seien hier die EUROMAP77 für die standardisierte Schnittstelle zwischen Spritzgießmaschinen und Leitrechnern bzw. MES oder die OPC UA for Machine Tools für die standardisierte Schnittstelle von Werkzeugmaschinen genannt.

Specification stellt die Grundbausteine zur digitalen Beschreibung von allen Maschinen- und Anlagen des Maschinen- und Anlagenbausektors. Durch die Nutzung der harmonisierten OPC UA for Machinery wird die semantische Interoperabilität zwischen den Companion Specifications gewährleistet, so dass unterschiedliche Maschinen und Anlagen branchenübergreifend einheitlich angebunden werden können.

Aufbauend auf Companion Specifications, wie auch unabhängig davon, können im Migrationsschritt 3 herstellerspezifische Informationsmodelle integriert werden.

Die OPC UA Companion Specifications dienen zur Standardisierung branchenspezifischer Informationsmodelle von Maschinen- und Anlagen, stellen jedoch keine Einschränkung hinsichtlich der Implementierung erweiterter Informationsmodelle dar. Im Migrationsschritt 3 werden produktspezifische Informationsmodelle definiert, die wiederum die OPC UA Companion Specifications erweitern können, wie in den logischen Ebenen von OPC UA in Abbildung 3 dargestellt. Den Maschinen- und Anlagenherstellenden wird hierdurch die Möglichkeit gegeben, über den Standard hinausgehende Funktionen zu implementieren.

Als Beispiel seien Funktionen für die Energie- oder Taktzeitoptimierung einer Produktionsmaschine erwähnt. Enthalten die produktspezifischen Informationsmodelle geschütztes Wissen, das nicht in die Standardisierung eingebracht werden soll, so können sensible Informationen, durch das bereits erwähnte Sicherheitskonzept der Zugriffsrechte, vor unberechtigtem Zugriff geschützt werden.

Zielsetzung des vorliegenden Leitfadens

Der vorliegende Leitfaden legt den Fokus auf die Industrie 4.0-Interoperabilität durch die Standardisierung der Informationsmodelle, die

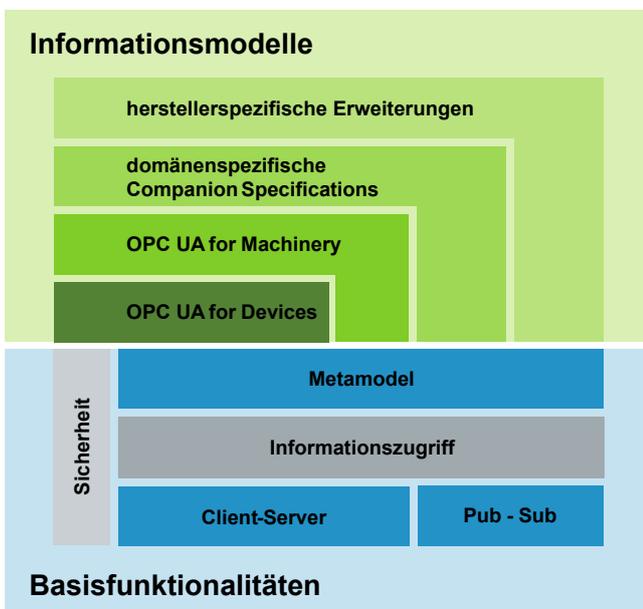


Abbildung 3: logische Ebenen von OPC UA

Wie in der Abbildung 3 dargestellt, können domänenspezifischen Companion Specifications auf das Informationsmodell der OPC UA for Machinery aufbauen. Diese Companion

einerseits durch die domänenspezifischen OPC UA Companion Specifications definiert und durch die OPC UA for Machinery branchenübergreifend harmonisiert wird.

Nach der Einführung der Weltsprache der Produktion mit OPC UA und den OPC UA Companion Specifications wird die Entstehung von den OPC UA CS anhand der einzelnen Entwicklungsschritte erläutert. Anhand von zwei Anwendungsszenarien werden die Interoperabilität von unterschiedlichen Maschinen- und Anlagen über die OPC UA for Machinery und den OPC UA Companion Specifications gezeigt und hieraus die Mehrwerte für Nutzergruppen dargestellt.

Im Anschluss wird das Zusammenwirken von OPC UA und der komplementären Technologie der Asset Administration Shell behandelt. Hier liegt der Fokus auf der gegenseitigen Ergänzung der beiden Technologien. Mit den Produktionsdaten aus OPC UA können die Daten des Produktlebenszyklus in der AAS angereichert werden, wodurch ein umfangreiches digitales Abbild einer Industrie 4.0-Komponente entsteht.

Dieser Leitfaden schließt mit einem Ausblick auf die Entwicklung von Datenräumen und digitalen Ökosystemen ab. Die Kommunikationsarchitektur OPC UA liefert als Standard eine Grundlage für unternehmensübergreifende Zusammenarbeit, um Dateninseln miteinander zu verbinden und somit neue Wertschöpfungssysteme zu schaffen.

Bei OPC UA und der Asset Administration Shell handelt es sich um ergänzende Technologien der Industrie 4.0-Kommunikation. Hierbei liefern OPC UA und die OPC UA CS wichtige Bausteine für die Interoperabilität von Datenräumen und digitalen Ökosysteme.

2. OPC UA und OPC UA Companion Specifications Eine einheitliche Sprache für die Produktion

Ein zentrales Element der Industrie 4.0 ist die digitale Kommunikation zwischen verschiedenen Systemen, Maschinen und Anlagen. Die Kommunikationsarchitektur OPC UA erfüllt hierbei die vom Maschinen- und Anlagenbau gestellten Anforderungen einer IT-sicheren Kommunikation sowie der einheitlichen Vernetzung und Integration von Maschinen und Anlagen. Die Industrie 4.0-Kommunikation mit OPC UA ermöglicht nicht nur die horizontale Vernetzung zwischen Maschinen und Anlagen, sondern auch den vertikalen Informationsaustausch von der Feldebene bis zur Cloud, wie in Abbildung 4 illustriert.

Für die Interoperabilität zwischen den branchenspezifischen Systemen, Maschinen und Anlagen müssen sich diese untereinander verstehen können. In Analogie zu der menschlichen Sprache, benötigt die digitale Kommunikation eine Grammatik und ein Vokabular. Die Art der Kommunikation wird zunächst in der Transportschicht der OPC UA-Kommunikationsarchitektur festgelegt. Die Client-Server-Kommunikation entspricht einem

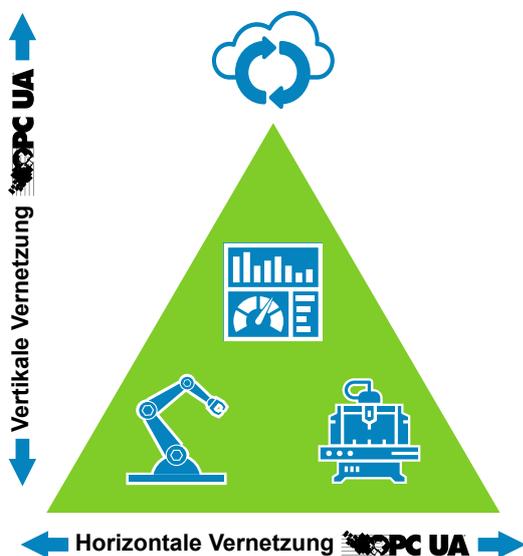


Abbildung 4: Horizontale und vertikale Vernetzung mit OPC UA

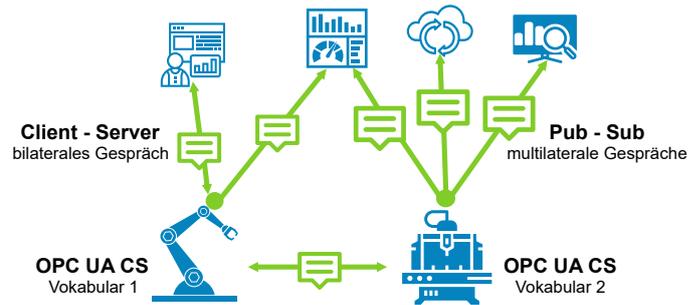


Abbildung 5: Industrie 4.0-Kommunikation über das Pub-Sub bzw. das Client-Server Konzept mit OPC UA CS

bilateralen „Gespräch zwischen zwei Personen, wohingegen OPC UA Pub-Sub als das Reinrufen in einen Raum mit einer beliebigen Anzahl von Personen interpretiert werden kann, wie in Abbildung 5 dargestellt. Die Grammatik ist unter anderem durch die allgemeine Struktur des Informationsmodells in OPC UA festgelegt.

Diese definiert zum einen die standardisierten Typen zur Repräsentierung der Informationen, und zum anderen wie diese miteinander verknüpft werden können.

Die Modellierung der Informationen anhand des Informationsmodells in OPC UA definiert das Vokabular. Analog zum branchenspezifischen Fachjargon wird das Vokabular für die Maschinen und Anlagen aus den verschiedenen Domänen in den OPC UA Companion Specifications definiert. Damit jedoch eine branchenübergreifende Interoperabilität möglich ist, wird ein Grundwortschatz benötigt. Aus diesem Grund wurde die OPC UA for Machinery entwickelt, welche das standardisierte Vokabular für die branchenübergreifende Interoperabilität des Maschinen- und Anlagenbaus enthält. Die Basisfunktionalitäten der OPC UA Kommunikationsarchitektur inklusive der Informationsmodelle der OPC UA Companion Specifications (vgl. Abbildung 1) bildet die Weltsprache der Produktion, welche das höchste Maß an Interoperabilität für den Maschinen- und Anlagenbau gewährleistet. Die IT-sichere Umsetzung dieser Interoperabilität erfüllen die in der OPC UA

Kommunikationsarchitektur bereits implementierten Sicherheitsmechanismen, die sowohl in der Transport- als auch in der Applikationsschicht verankert sind.

2.1 Kommunikations- und Informationssicherheit

ÖaÁQá~•daÁEES[{ { } äæä } Á ~••Áæ@!
 •^ä EA { Áä^!•^äÁV, d!)^@^)•, ^!dÁ~Á
 •&@c^) Á } áäæ ä^!•^äÁ^•^c |æ@Á
 X[! * äæä } Áä @æc } Á~Á4} } ^} ÁQT Y äGEFJaDÄ
 ÖaÁS[{ { } äæä } •æ&@æ\ c! ÁUÓÁVÁ dÁ
 Ú^&!^Á^ ÁO^•ä } EäæÁ ^&@æ ä { } Á~!Á
 •æ@!^) ÁS[{ { } äæä } Á[, äÁ~ { Áæ@!^) Á
 Q+! { äæä } •~*!ä-Á^!^ä~ ÁÁ^!ÁO; c æ| } *Á
 ä^!>&•æ@æ d } !ä^) ÁUÓÁVÁ } äæä } EGEF! DÄ
 ÖaÁS[{ { } äæä } •EÄ } áQ+! { äæä } •æ@!@æ
 ä^!ÁUÓÁVÁ S[{ { } äæä } •æ&@æ\ c! Á dÁ Á
 ä^!ÁUÓÁVÁÚ^&!æ EÜ] ^: ää äæä } Á•c^@æc } EÄ
 Öä^Á[{ ÁO } ä^•æ d^!ÁUæ@!@æ ÁÁ^!Á
 Q+! { äæä } •c&@ äÁ^!&^>@cÁUæ@!@æ E
 ææ^•Á@æáÁ^&!æ EÜ] ^: ää äæä } ^ } Á
 UÓÁVÁ Áæ@!Áä *^•c -ÁUÓÁVÁ

Sicherheitsaspekte Confidentiality, Integrity sowie Application Authentication abgedeckt. Zum Beispiel wird bei der clientseitigen Verbindungsanfrage eines OPC UA-Clients mit einem OPC UA-Server überprüft, ob dieser ein gültiges Zertifikat besitzt. Nur wenn das Zertifikat des Servers gültig ist und der Identität vertraut wird, verbindet sich der OPC UA-Client mit dem Server. Die Kommunikationsarchitektur OPC UA verwendet hierfür X.509 Zertifikate. Durch die Überprüfung der Authentizität werden unter anderem Cyberangriffe wie Man-in-the-Middle (Rogue-Server, Evil-Hot-Spot) oder Message-Replay verhindert (OPC Foundation, 2023).

Die Applikation Layer Security berücksichtigt Sicherheitsaspekte wie User Authentication, User Authorization, Auditing und Availability, welche in der Anwendungsschicht angesiedelt sind. Zusätzlich zu der bereits beschriebenen Überprüfung der Identität für den Verbindungsaufbau zwischen einem OPC UA-Client und Server, wird die Identität des Benutzers geprüft. Ist die Benutzeridentität bestätigt, wird geprüft, ob die Benutzerrechte für den gewünschten Informationszugriff auf die Objekte (Variablen, Methoden oder Dienste) im Informationsmodell ausreichen. Sowohl die Authentizität sowie die Zugriffsrechte der Benutzer können unter anderem durch Zertifikate benutzerspezifisch oder unternehmensweit verwaltet werden. Letzteres wird durch eine Public-Key-Infrastruktur (PKI) umgesetzt, welche die Ausstellung, Verteilung und Überprüfung der Zertifikate übernimmt. Die Signierung der Zertifikate erfolgt durch die Certificate Authority (CA) (OPC Foundation, 2022c). Durch die Prüfung der Benutzerrechte mittels der User Authorization-Instanz können unter anderem Angriffe wie Message-Spoofing abgewehrt werden (OPC Foundation, 2023). Die Protokollierung aller sicherheitsrelevanten Ereignisse erfolgt durch das Auditing. Hierdurch kann stets nachvollzogen werden, welcher Benutzer zu welchem Zeitpunkt Änderungen vorgenommen hat, insbesondere an sicherheitsrelevanten Einstellungen. Diese Transparenz ermöglicht unter anderem die Identifikation von kompromittierten Benutzerdaten. Durch Availability wird die Ver-

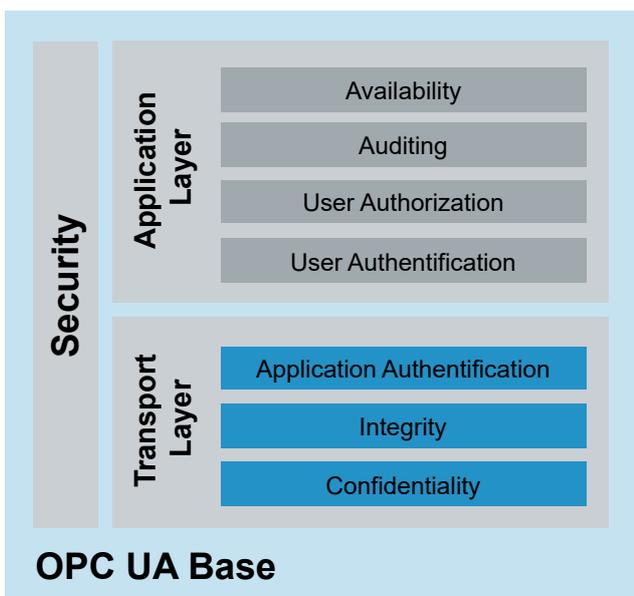


Abbildung 6: Die Ebenen von OPC UA Security

Verschlüsselte und signierte Datenübertragung ist Teil der OPC UA Transportschicht. In der Transportschicht (vgl. Abbildung 6) werden die

fügarkeit der Daten gewährleistet. Dies trägt unter anderem zum Schutz gegen Denial of Service (DoS)-Attacken bei.

Die stetige Weiterentwicklung der OPC UA-Sicherheit erfolgt durch die OPC UA Security Working Group. Diese Arbeitsgruppe besteht aus mehr als 25 führenden Automatisierungs- sowie IT-Unternehmen. Sie trifft sich regelmäßig, um Netzwerkangriffe aufzuarbeiten und Sicherheitslücken zu behandeln und schnellstmöglich zu schließen. Zudem steht die OPC UA Security Working Group mit Institutionen für die Daten- und Informationssicherheit in Kontakt, wie z. B. dem Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, um die Umsetzung neuer Sicherheitsrichtlinien zu gewährleisten.

2.2 OPC UA-Informationsmodelle

Die Informationsmodellierung in OPC UA ermöglicht eine semantische Definition von Objekten, Merkmalen und Interaktionen sowie der Struktur, wie ein Informationsmodell in einem OPC UA-Server einer Maschine oder Anlage umgesetzt wird. Die Informationsmodellierung stützt sich hierbei auf Konzepte der objektorientierten

Programmierung. Ein einfaches Beispiel hierfür ist ein Temperatursensor in einer Maschine oder Anlage, welcher mit OPC UA durch einen Knoten dargestellt werden kann. Dieser Knoten besitzt verschiedene Objekte, die sowohl statische Informationen als auch dynamische Informationen repräsentieren. Statische Informationen können Metadaten des Temperatursensors, wie z. B. Einheit der Temperatur, Messbereich oder Applikationsort, sein und können als Informationen aus der OPC UA for Machinery bezogen werden. Dynamische Informationen sind in diesem Fall unter anderem der Zeitstempel und der aktuelle Temperaturmesswert. Der Knoten zur Repräsentation des Temperatursensors kann wiederum in Beziehung (OPC UA References) zu anderen Knoten oder Objekten stehen.

Die Informationsmodellierung definiert das Vokabular, in diesem Fall dasjenige des Temperatursensors von dem jeweiligen herstellenden Unternehmen. Nun kann ein anderer Hersteller für die eigenen Temperatursensoren ebenfalls ein Informationsmodell zur Integration in OPC UA anbieten. Hierdurch ergibt sich eine unterschiedliche Semantik beider Temperatursensoren. Dies erhöht den Integrationsaufwand erheblich, da z. B. ein

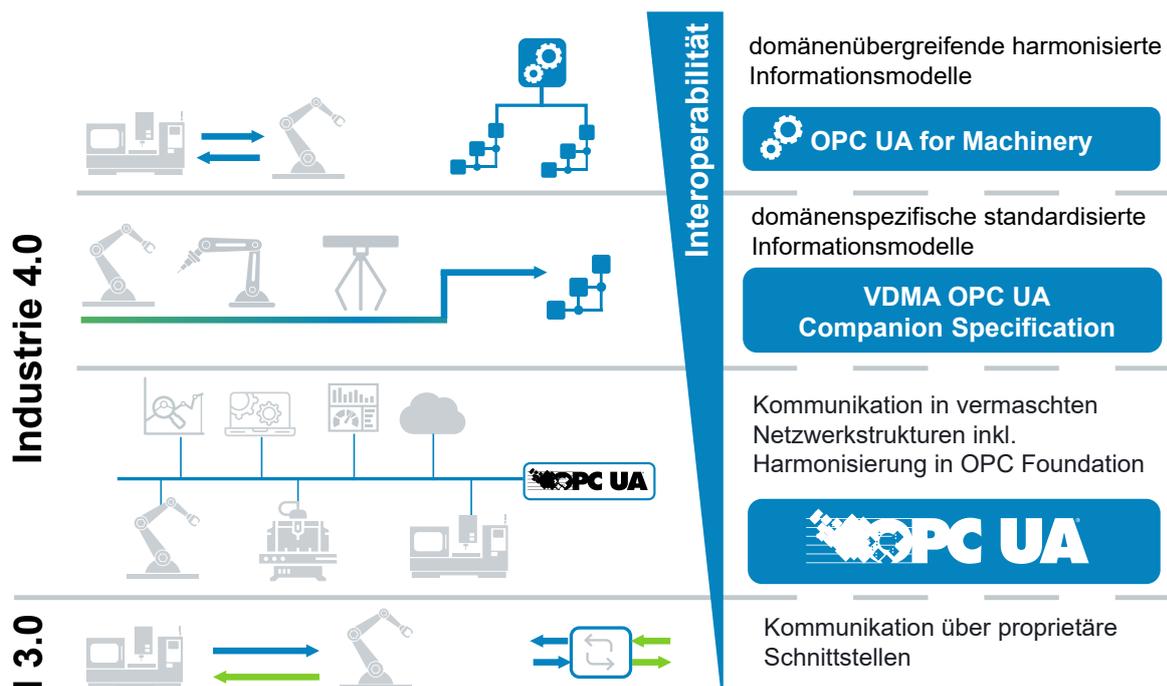


Abbildung 7: Interoperabilität durch branchenspezifische Standardisierung sowie branchenübergreifende Harmonisierung der Informationsmodelle

OPC UA-Client beide Informationsmodelle verstehen muss, obwohl es sich um gleichartige Geräte (Temperatursensoren) handelt. Dies führt letztendlich zu quasi-proprietären Informationsmodellen und schränkt die Interoperabilität signifikant ein.

Der VDMA, in Kooperation mit der OPC Foundation, orchestrieren derzeit über 600 Unternehmen aus mehr als 26 VDMA Fachverbänden zusammen mit Mitgliedern der OPC Foundation, mit dem Ziel, Informationsmodelle für den Maschinen- und Anlagenbau zu standardisieren. Dies geschieht in zwei Ebenen der Industrie 4.0-Interoperabilität, wie in Abbildung 7 dargestellt (VDMA, 2023).

Die domänenspezifische Standardisierung der Informationsmodelle wird in den OPC UA Companion Specifications festgehalten. Die Informationsmodellierung erfolgt hierbei durch die branchenspezifischen Unternehmen in Arbeitsgruppen, welche von Seiten des VDMA sowie der OPC Foundation unterstützt werden.

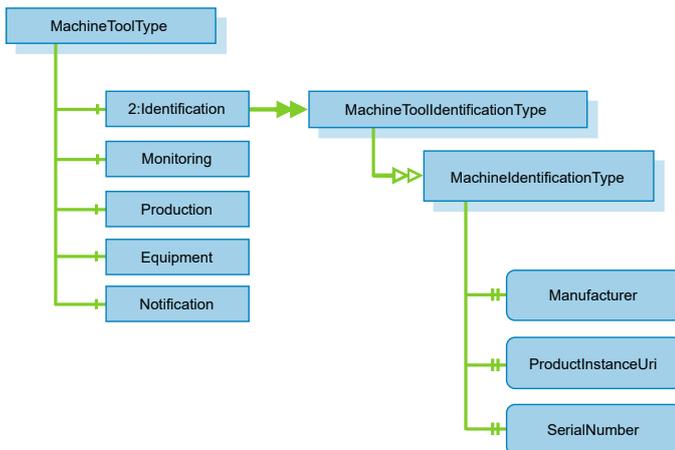


Abbildung 8: Der Datentyp MachineToolType für die Werkzeugmaschinenindustrie

Die Abbildung 8 zeigt exemplarisch den Objekttyp *MachineToolType* des Informationsmodells bzw. der OPC UA Companion Specification für Werkzeugmaschinen OPC UA for Machine Tools - Part 1: Machine Monitoring and Overview“ (OPC Foundation, 2020). Jede Instanz des Datentyps *MachineToolType* repräsentiert in OPC UA eine einzige Werkzeugmaschine. Wie der Abbildung 8 zu entnehmen ist, besitzt diese unter anderem die Komponente *Identification* vom Datentyp *MachineToolIdentificationType*. Diese enthält wiederum in dem untergeordneten Datentyp *MachineIdentificationType* verschiedene Variablen mit Informationen zum Hersteller und

die Seriennummer der Werkzeugmaschine. Anknüpfend an die Analogie zur menschlichen Sprache stellt die Struktur des Informationsmodells das Vokabular dar, wobei die Grammatik durch die Konzepte zur Informationsmodellierung in OPC UA festgelegt ist.

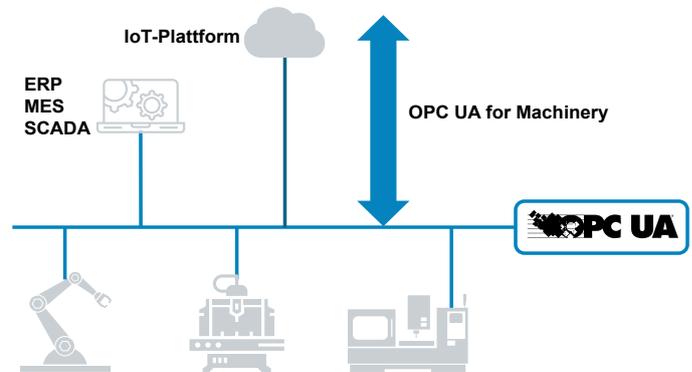


Abbildung 9: OPC UA for Machinery zur vertikalen Integration

Die OPC UA Companion Specifications erlauben zunächst eine Interoperabilität zwischen Maschinen und Anlagen innerhalb der Domäne. Für die branchenübergreifende Interoperabilität wird eine übergeordnete OPC UA Companion Specification benötigt, die für den gesamten Maschinen- und Anlagenbau gültig ist. Aus diesem Grund wurde die Companion Specification OPC UA for Machinery ins Leben gerufen, mit dem Ziel, die domänenspezifischen Companion Specifications branchenübergreifend zu harmonisieren (vgl. Abbildung 9). Die OPC UA for Machinery Specification wird in mehreren Arbeitsgruppen durch Vertreter unterschiedlicher Branchen weiterentwickelt und vom VDMA sowie von der OPC Foundation hierbei unterstützt. Die OPC UA for Machinery wird in sogenannten Building Blocks entwickelt und veröffentlicht, um die Harmonisierung früh umsetzen zu können. 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. Zudem kommen neue Building Blocks für Job Management und Energy Management hinzu. Die OPC UA for Machinery erleichtert die Integration von erweiterten Anwendungsfällen von Maschinen und Anlagen in vertikale Systeme wie SCADA, MES, ERP oder in eine IoT-Plattform.

Zudem können Knotendefinitionen in OPC UA auf weitere, externe Data-Dictionaries (Datenkataloge) wie IEC Common Data Dictionary oder ECLASS (OPC Foundation, 2022d) verweisen.

Da die OPC UA Companion Specifications kontinuierlich weiterentwickelt werden, wird auf eine Auflistung in dem vorliegenden Leitfaden verzichtet, sondern auf die Liste der aktuellen OPC UA Companion Specifications über den nachfolgenden QR-Code verwiesen:



(<https://www.vdma.org/catalogs>)

3. Ein harmonisierter globaler Ansatz innerhalb des VDMA und der OPC Foundation

Die Entwicklung von OPC UA Companion Specifications erfolgt durch Vertreterinnen und Vertreter verschiedener Industriebranchen in Kooperation mit dem VDMA und der OPC Foundation. Hierfür haben alle Interessentinnen und Interessenten, mit einer Mitgliedschaft in einem der beteiligten Verbände, die Möglichkeit mitzuarbeiten und somit an der Entwicklung von OPC UA CS bzw. der Durchführung des Reviews eines OPC UA CS-Entwurfes teilzunehmen. Die Entwicklung erfolgt in einzelnen Schritten wie in Abbildung 10 dargestellt und wird im Folgenden erläutert.

Vorarbeiten

Die Vorbereitung und Bildung von Arbeitsgruppen wird durch die OPC Foundation sowie Industrieverbänden wie beispielsweise dem VDMA gestaltet. Der VDMA organisiert und verwaltet die Arbeitskreise, welche die OPC UA CS entwickeln. Um die Entwicklung komplexer Informationsmodelle zu vereinfachen, arbeitet die OPC Foundation global mit Organisationen und Industrievertretenden verschiedener Branchen zusammen. Dies hat zum Ziel die

Anwendbarkeit, Akzeptanz und Verbreitung der OPC UA CS zu erhöhen. Die branchenspezifische Zusammenarbeit erfolgt in Arbeitsgruppen, welche als Joint-Working-Groups (JWG) bezeichnet werden.

Diese erarbeiten die OPC UA Companion Specifications für die Anwendungsfälle der kooperierenden Partnerinnen und Partner, welche Konformitätstests für die Überprüfung der Implementierung beinhalten (OPC Foundation, 2022a).

Damit eine effektive Kooperation zwischen den Industrievertretenden und der OPC Foundation gewährleistet wird, gibt es festgelegte Kriterien für die Arbeitsgruppen, beispielsweise verpflichten sich die JWG dazu branchenübergreifende Themen sowie Definitionen abzustimmen. Dazu fördern die OPC Foundation und Industrieverbände wie beispielsweise der VDMA, durch die internationale Verknüpfung von Nutzergruppen die Bildung der JWG (vgl. Abbildung 11).



Abbildung 10: Entwicklungsphasen der OPC UA Companion Specifications

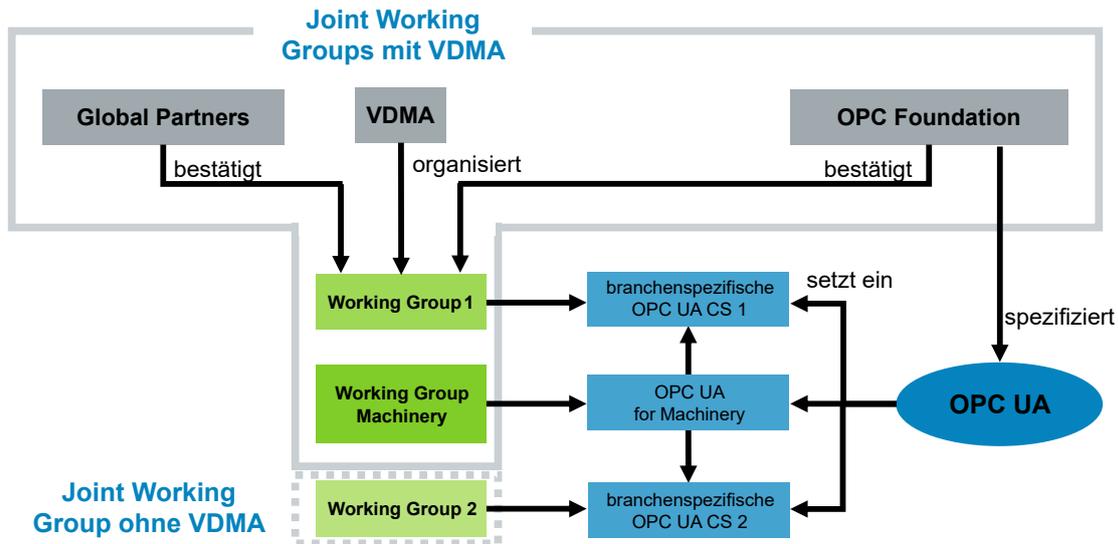


Abbildung 11: Globale Zusammenarbeit durch Joint Working Groups

Die Weiterentwicklung der OPC UA for Machinery, erfolgt in einer JWG, welche sich aus Expertinnen und Experten verschiedener Branchen bildet. Identifiziert die JWG den Bedarf zur Entwicklung eines neuen Building Blocks, bildet sich jeweils eine dafür spezifische Current Working Group (CWG), welche in regelmäßigen Zeitabständen über die Fortschritte an die JWG berichtet. Diese JWG besteht aus Mitgliedern des VDMA sowie der OPC Foundation. Die einzige Voraussetzung für die Mitarbeit in einer JWG ist die Mitgliedschaft in einem der beteiligten Verbände, wie dem VDMA.

Inhaltliche Arbeit

Nach der Organisation einer Arbeitsgruppe erarbeitet diese alle relevanten Eigenschaften sowie Funktionen und entwickeln das branchenspezifische Informationsmodell (OPC UA Companion Specifications). Es werden Anwendungsfälle analysiert und in Abhängigkeit davon Kommunikationspläne und Funktionen abgeleitet. Diese werden tabellarisch oder in Diagrammen (z. B. SysML) modelliert. Die Kommunikationspläne berücksichtigen hierbei sowohl die interne als auch die horizontale und vertikale Kommunikation. Darüber hinaus wird dabei die Grundlage geschaffen, um zukünftige Anpassungen der Konfigurationen und Definitionen zu ermöglichen. Des Weiteren wird in diesem Entwicklungsschritt festgelegt, welche Informationen relevant sind und bereitgestellt werden müssen. Dabei wird berücksichtigt, welche Parteien miteinander kommunizieren und ob spezifische Methoden erforderlich sind.

Design in OPC UA

In diesem Entwicklungsschritt wird das erarbeitete Informationsmodell in OPC UA umgesetzt. Darüber hinaus werden die Verfügbarkeit einer Testspezifikation, deren Implementierung (vergleiche Abbildung 8) sowie die Möglichkeit der Zertifizierung in einem Testumfeld aufgezeigt.

Veröffentlichung

Sobald der Entwurf des Informationsmodells in OPC UA abgeschlossen ist, wird die OPC UA CS mit identischem Inhalt durch die OPC Foundation und den VDMA veröffentlicht.

Internationalisierung

Nach Veröffentlichung der OPC UA CS wird die Internationalisierung durch die OPC Foundation sowie den VDMA intensiviert. Hierfür werden die Informationsmodelle auf internationalen Messen sowie B2B-Veranstaltungen vorgestellt, um entsprechende Marktbarrieren zu reduzieren.

Internationalisierung

Während der inhaltlichen Erarbeitungsphase wird auf eine Konsistenz des Informationsmodells geachtet. Dafür werden mehrfach verwendbare Definitionen vereinheitlicht. Außerdem wird in der OPC UA-Designphase eine branchenübergreifende generalisierte Architektur des Informationsmodells für die OPC UA CS entwickelt, um eine Interoperabilität verschiedener OPC UA CS zu gewährleisten.

4. Szenarien

Im bisherigen Leitfaden sind OPC UA Companion Specifications und deren Entwicklungsphasen beschrieben. Aufbauend darauf werden in diesem Abschnitt deren Mehrwerte für Unternehmen und deren Mitarbeitende exemplarisch anhand von zwei industriellen Anwendungsszenarien vorgestellt. Zur Verdeutlichung, dass der Einsatz von OPC UA CS alle Industrien und Gewerbe adressiert, werden zwei verschiedene Branchen dargestellt. So beschreibt das erste Szenario einen Chargenprozess zur Materialabfüllung in der Prozessindustrie. Das zweite Szenario hingegen beschreibt eine Produktionszelle für die diskrete Fertigung von hochpräzisen Werkstücken, beispielsweise aus der Luft- und Raumfahrtindustrie. Hierbei zeigen beide Szenarien, wie anhand der OPC UA for Machinery Informationsblöcke bereitgestellt werden und diese mit verschiedenen domänenspezifischen OPC UA CS interagieren, wie in Abbildung 12 illustriert. In den dargestellten Szenarien werden folgende Companion Specifications verwendet:

- [1] OPC UA for Machinery
- [2] OPC UA Interfaces for Plastics and Rubber Machinery - Peripheral Devices Part 1: Temperature Control Devices

- [3] OPC UA for Weighing Technology
- [4] OPC UA for Machine Tools - Monitoring & Job Overview
- [5] OPC UA for Robotics
- [6] OPC UA for Machine Tending
- [7] OPC UA for Geometrical Measuring System
- [8] OPC UA for Robotics - Vertical Integration

4.1 Chargenprozess mit integriertem Energiemanagementsystem

Die Mehrwerte der OPC UA Companion Specifications werden zuerst anhand des in Abbildung 13 vereinfacht dargestellten Prozesses erläutert. Das Szenario illustriert einen Ausschnitt aus einem Abfüllprozess in der Prozessindustrie. Dabei werden Leerbehälter dem Abfüllprozess zugeführt und unter Einsatz von Material und Energie zu einem Endprodukt umgesetzt. Der Datenaustausch läuft sowohl innerhalb als auch zwischen der IT-System-Ebene und der Shopfloor-Ebene ab. Die Kommunikation zwischen den einzelnen Maschinen und Systemen findet direkt via OPC UA statt.

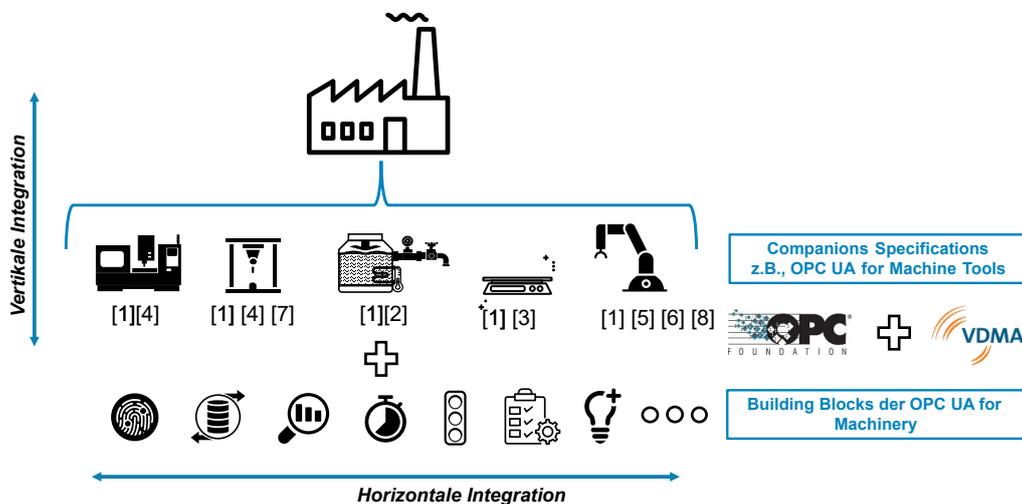


Abbildung 12: Übersicht der branchenspezifischen und -übergreifenden Companion Specifications

Auf Shopfloor-Ebene läuft der Abfüllprozess ab. Der Prozess beginnt durch die Entnahme eines leeren Behälters durch einen Industrieroboter aus einem Leerbehälterlager. Der Industrieroboter stellt den Leerbehälter auf eine hochpräzise Waage. Sobald der Behälter auf der Waage positioniert ist, leitet eine Dosiereinheit das Material aus dem Materialtank in den leeren Behälter. Die Waage meldet der Dosiereinheit am Materialtank, wann die Zielmenge erreicht ist. Die Zielmenge wird der Waage vom MES mitgeteilt. Anschließend übergibt die Waage eine Meldung an den Industrieroboter. Der Industrieroboter nimmt den befüllten Behälter und überführt ihn in ein Produktlager. Durch den Einsatz einer zweiten Waage unter dem Materialtank wird sichergestellt, dass immer genügend Material vorhanden ist. Das Distributed Control System (DCS), als Prozessleitsystem, befindet sich ebenfalls auf dem Shopfloor und übernimmt Steuerungs- und Regelungsaufgaben. Die Daten werden von Maschinen auf dem Shopfloor an die Systeme der IT mittels OPC UA übermittelt.

In der IT-System-Ebene sind in diesem Szenario vier Subsysteme zu finden: MES, Process Orchestration Layer (POL), Asset Management System (AMS) und Energy Management System (EMS). Das MES überwacht die Herstellung der Waren vom Rohmaterial bis zum fertigen Produkt und gibt beispielsweise Zielwerte vor und wird für das Job Management eingesetzt. Das POL wird unter anderem für das Condition Monitoring verwendet. Hier werden KPIs wie die Overall Equipment Effectiveness (OEE) berechnet. Das AMS verwaltet die Komponenten, Maschinen und Anlagen. Das EMS unterstützt das Unternehmen, Energieeinsparpotenzial systematisch zu identifizieren. Auf das EMS wird im Folgenden detaillierter eingegangen.

Energiemanagement

Die OPC UA Companion Specifications bieten Mehrwerte für ein breites Anwendungsspektrum über alle Branchen hinweg. Ein Thema, das in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen hat, ist das Energiemanagement, das einen großen Einfluss auf die ökologischen und ökonomischen Zielsetzungen eines Unterneh-

mens hat. Systematisches Energiemanagement trägt zu einer Erhöhung der Energieeffizienz und einer Reduktion der damit verbundenen Treibhausgasemissionen bei. Zudem bringen die Energiereduktionen Kostenentlastungen für ein Unternehmen und stärken dessen Wettbewerbsfähigkeit (Umweltbundesamt, 2021).

Norm ISO 50001

Durch den Einsatz von Energiemanagementsystemen können Energieeinsparpotenziale systematisch identifiziert und ausgeschöpft werden. Die Norm ISO 50001 ist ein international anerkanntes Standardwerk für Energiemanagement. Die Norm ist nicht sektorspezifisch und für Klein-, Mittel- und Großunternehmen geeignet. Unter Anwendung der ISO 50001 werden Energieziele festgesetzt, Aktionspläne erarbeitet und die Zielerreichung anhand von Energieleistungskennzahlen bewertet (Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2018). Neben den direkten Einsparungen an Energie und CO₂-Emissionen kann die Umsetzung dem produzierenden Gewerbe unter bestimmten Voraussetzungen zusätzlich Steuererleichterungen, wie den Lastspitzenausgleich und die EEG-Umlagenbegrenzung, einbringen. Außerdem befreit die Einführung eines EMS nach der ISO 50001 Großunternehmen von der Pflicht eines Energieaudits nach der DIN EN 16247 - 1 (Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2018).

Unternehmen müssen für die Umsetzung der ISO 50001 eine energetische Bewertung durchführen. Dafür muss das Unternehmen den Energieeinsatz und -verbrauch auf der Grundlage von Meta- und Betriebsdaten analysieren.

OPC UA Companion Specifications

Die Metadaten (z. B. Hersteller, Herstellungsjahr) und Betriebsdaten (z. B. Leistungsaufnahme, Stückzahl) aus dem Abfüllprozess bilden die Grundlage für das Management des Produktionsprozesses. Durch die Anwendung der OPC UA Companion Specifications werden die Daten den IT-Systemen (MES, POL, AMS, EMS etc.) eindeutig definiert bereitgestellt.

Dies gilt sowohl für den Zugriff als auch für die Darstellung der Daten. Der Zugriff bezieht sich auf das Ansprechen eines Datenpunktes im Informationsmodell. Die Darstellung beinhaltet unter anderem den Datentyp und die physikalische Einheit, die eindeutig mit dem Datenpunkt definiert sind. Dies ist insbesondere für die dynamischen Betriebsdaten wichtig.

Die Metadaten werden mit der OPC UA for Machinery abgebildet. Dazu zählen statische Stammdaten wie z. B. der Hersteller, die Identifikationsnummer und das Herstellungsjahr. Betriebsdaten sind ebenfalls in der OPC UA for Machinery definiert. Für ein übergeordnetes EMS wird seitens des VDMA und der beteiligten Unternehmen der Arbeitsgruppe an einer Companion Specification gearbeitet, welche die Darstellung von Energiedaten beschreibt. Aus dieser OPC UA CS werden die relevanten Inhalte in einen harmonisierten Building Block der OPC UA for Machinery überführt. Als Building Block bildet das Informationsmodell die Energiedaten für alle Maschinen ab. Der harmonisierte Building Block in der OPC UA for Machinery ist kompatibel mit

den Standards CIP Energy, sercos Energy und PROFI Energy. Enthalten sind dabei unter anderem die zeitlichen Energieverbräuche. Durch die EngineeringUnit sind die Einheiten und Zeitstempel der Energieverbräuche implizit standardisiert. Weitere Daten, die zur Bildung von Energieleistungskennzahlen nach der ISO 50001 benötigt werden, sind ebenfalls in der OPC UA for Machinery und den domänenspezifischen OPC UA CS definiert. Dazu zählen beispielsweise die gefertigten Produkte pro Zeitintervall und der Maschinenstatus. Somit lassen sich die Daten dem EMS über eine standardisierte Schnittstelle für alle Maschinen bereitstellen. Durch die Standardisierung lässt sich das Szenario einfach skalieren und somit auf beliebig komplexe Systeme anwenden.

Außerdem werden die Daten ebenfalls in andere Managementsysteme überführt und dort für unterschiedliche Anwendungen eingesetzt.

Das Abfüllsystem im beschriebenen Szenario beinhaltet mehrere Energieverbraucher: Einen Industrieroboter, das Temperiergerät, die Dos-

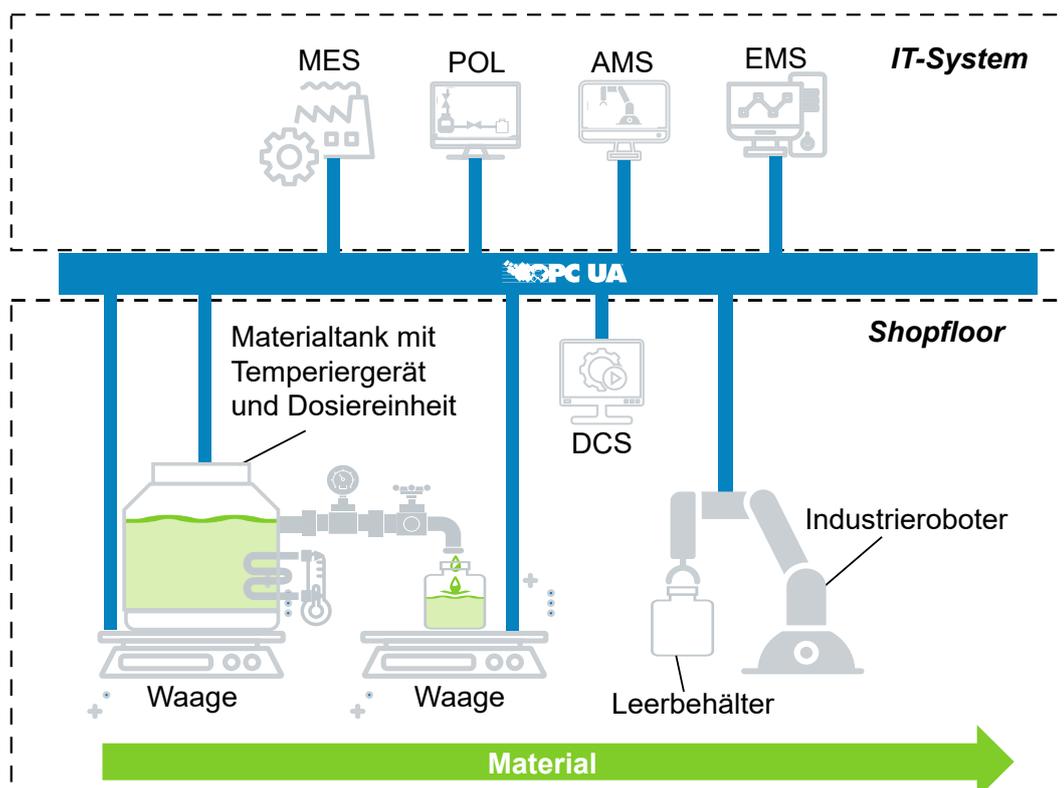


Abbildung 13: Chargenprozess mit integriertem Energiemanagement

iereinheit am Materialtank und zwei Waagen. Der Industrieroboter und das Temperiergerät stellen in diesem Szenario signifikante Energieverbraucher dar, die nach der ISO 50001 betrachtet werden. Der Energieverbrauch der Waagen und der Dosiereinheit sind hingegen vernachlässigbar.

Die OPC UA Companion Specifications ermöglichen durch die standardisierten Schnittstellen die Bereitstellung einer umfangreichen Datengrundlage über alle Prozesse und Maschinen hinweg. Somit liefern sie einen essenziellen Beitrag zur Datenbereitstellung und für ein EMS nach ISO 50001. Der Energieeinsatz und -verbrauch wird anhand von Energiemessstellen identifiziert und über die standardisierten Schnittstellen OPC UA CS bereitgestellt. Die standardisierten Daten lassen sich in der Folge analysieren und Energieeinsparpotenziale für signifikante Energieverbraucher identifizieren.

Die bisher vorgestellten Vorteile der OPC UA CS resultieren in direkten Mehrwerten für eine Vielzahl von Nutzergruppen in einem Unternehmen. Im Folgenden werden Mehrwerte für ausgewählte Nutzergruppen aufgezeigt.

Mehrwerte für ausgewählter Nutzergruppen

Die maschinenherstellenden Unternehmen der Waagen und Roboter können, dank einer einfachen Integration ihrer Maschinen in neue oder bestehende EMS, dafür werben und somit neue Kunden gewinnen. Darüber hinaus sind trotzdem herstellereinspezifische Erweiterungen möglich, um sich von der Konkurrenz abzuheben (Migrationsschritt 3).

Das Produktmanagement des anlagenherstellenden Unternehmens erhält im laufenden Betrieb umfangreiche vereinheitlichte Daten über die Produkte. Der Entwicklungsprozess wird in der Folge vereinfacht und ist resilienter.

Von einer einfachen Integration profitieren auch **Systemintegratorinnen und -integratoren**. Die Schnittstellenkonfiguration ist effizient und einfach zu dokumentieren. Außerdem können sie leicht ihre Produktpalette erweitern, da die Einarbeitung in neue Systeme vereinfacht ist.

Anlagennutzerinnen und -nutzern erleichtert die standardisierte Schnittstelle das Verständnis neuer Maschinen. Im langjährigen Betrieb wird die Wartung durch die umfangreiche Datengrundlage vereinfacht.

Für **Führungskräfte** ergeben sich potenzielle Kosteneinsparungen für das Unternehmen aufgrund von Energieeinsparungen und gegebenenfalls Steuererleichterungen im Zusammenhang mit der ISO 50001. Darüber hinaus können Treibhausgasemissionen reduziert werden, was zum Umweltschutz beiträgt. Zusätzlich bewirkt die Umsetzung ein positives Image, da die Energieeinsparungen klar kommuniziert werden können. Außerdem werden Integrationskosten durch das "Ein Stecker viele Anwender" Prinzip reduziert.

Energiemanagerinnen und -manager profitieren bei der Analyse, Konzeption und Optimierung des energetischen Systems von den standardisierten Schnittstellen. Der Aufwand bei der Datenbeschaffung und -analyse wird deutlich reduziert und die Standardisierung von Einheiten und Begriffen minimiert Fehler.

Die **Produktionsleitung** erhält durch den Einsatz der OPC UA Companions Specifications einen vereinfachteren Zugang zu Daten und somit höhere Transparenz. In der Folge stehen präzise Leistungskennzahlen zur Verfügung. Außerdem lassen sich Investitions- und Integrationskosten für neue Komponenten deutlich verringern.

Die **IT-Abteilung** profitiert vom Einsatz des Security by Design-Prinzip bei OPC UA. Dies ermöglicht den Einsatz von Zertifikatsservern und erleichtert die Integration in neue oder bestehende IT-Systeme oder Maschinen. Es wird beispielsweise die Integration eines neuen EMS-Systems erleichtert.

4.2 Produktionszelle in der diskreten Fertigung

Im zweiten Szenario wird eine Produktionszelle in der diskreten Fertigung im vollautomatisierten und flexiblen Betrieb beschrieben.

Die in der Abbildung 14 dargestellte Produktionszelle besteht aus einer Werkzeugmaschine, einem Industrieroboter und einem Koordinatenmessgerät. Der Industrieroboter übernimmt die Aufgabe der Werkstückhandhabung, sowohl in die Werkzeugmaschine als auch in das Koordinatenmessgerät.

Ist der aktuelle Auftrag der Werkzeugmaschine beendet, so entnimmt der Industrieroboter das Fertigteil aus der Werkzeugmaschine und platziert dieses auf das Koordinatenmessgerät. Während der Vermessung und somit zur Bestimmung der Qualität des Fertigteils belädt der Industrieroboter die Werkzeugmaschine mit einem neuen Werkstück. Ist die Bestimmung der Bauteilqualität durch das Koordinatenmessgerät abgeschlossen und weicht diese von den vorgegebenen Toleranzen ab, so entnimmt der Industrieroboter das Werkstück aus dem Koordinatenmessgerät und

legt dieses auf die Ausschuss- und andernfalls auf die Gutteile-Palette.

Die Maschinen- und Anlagen sind im Shopfloor über OPC UA miteinander vernetzt. Zudem sind die OPC UA-fähigen Systeme für das Management der Fertigung (MES), der Maschinen- und Anlagen (AMS) sowie der Unternehmensführung (ERP) ebenfalls in das Netzwerk eingebunden. Zu Optimierungszwecken der Fertigung werden die Prozessdaten in eine IoT-Plattform übertragen, in der verschiedene Dienste zur digitalen Prozessoptimierung ausgeführt werden.

Der interoperable Betrieb innerhalb der Produktionszelle sowie mit den vertikal vernetzten Systemen (MES, AMS, ERP, IoT-Plattform) wird durch die OPC UA Companion Specifications ermöglicht. Jede OPC UA CS hat verschiedene Use Cases, die in der jeweiligen Spezifikation festgehalten sind.

Die OPC UA for Machine Tools - Monitoring - Job Overview bildet die standardisierte OPC UA-Schnittstelle für die Werkzeugmaschine. Diese enthält unter anderem Informationen über die Produktion

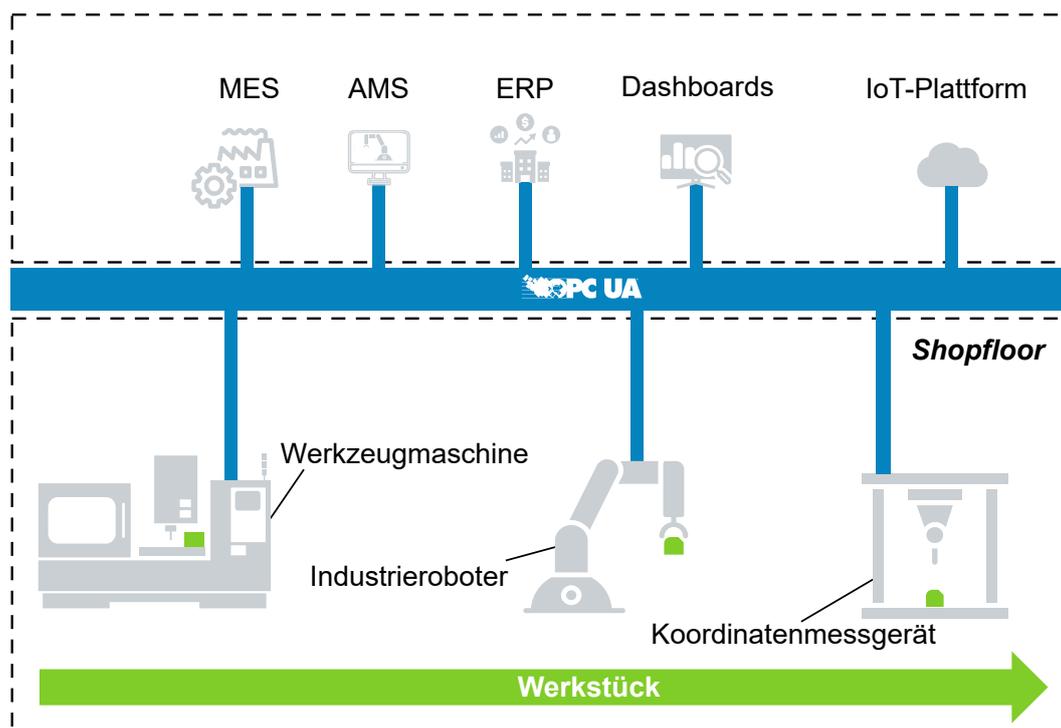


Abbildung 14: Produktionszelle zur diskreten Fertigung

wie z.B. Status, Laufzeiten oder die zu fertigenden Bauteile des Auftrages. Zudem stehen Zustandsdaten der Maschine zu Verfügung sowie Fehler und Warnungen (OPC Foundation, 2022b). Des Weiteren erleichtert die OPC for Machine Tools den Informationsaustausch mit Systemen wie MES, SCADA oder ERP und stellt wichtige Informationen für die Berechnung von KPI nach ISO 22400 zur Verfügung.

Für geometrische Messsysteme wie z. B. Koordinaten-, Form- oder Oberflächenmessgeräte wurde die OPC UA for Geometrical Measuring Systems (GMS) entwickelt. Diese enthält statische Maschinendaten zur Identifikation des Messsystems, wodurch eine schnelle und einfache Integration des Messsystems ermöglicht wird (VDMA, 2022b). Zudem sind Zustandsinformationen über das Messsystem sowie eine Übersicht von aktiven Messroutinen enthalten. Des Weiteren werden Informationen über das vermessene Bauteil und Messergebnisse bereitgestellt.

Für die Interoperabilität zwischen Maschinenbeschickungssystemen sowie Maschinen- und Anlagen, wie im Falle der Werkstückhandhabung zwischen Werkzeugmaschine und Industrieroboter, ist die OPC UA for Machine Tending vorgesehen. Diese ist an die ISO 21919, der standardisierten Schnittstelle für die automatisierte Maschinenbeschickung, angelehnt.

Die OPC UA for Robotics - Vertical Integration bildet die standardisierte Schnittstelle zur Integration von Industrierobotern in die höheren Steuerungsebenen. Durch die Bereitstellung von Betriebs- und Sicherheitszuständen sowie Prozessdaten können die Robotersysteme beaufsichtigt und überwacht werden. Der Zugriff auf Informationen wie Motortemperaturen, Last oder Einschaltdauer ist durch eine Zustandsüberwachung der Robotersysteme möglich. Die statischen Informationen zu elektrischen und mechanischen Komponenten wie Hersteller, Teilenummer oder Seriennummer gewährleisten eine effektive Wartung (OPC Foundation, 2019).

Mehrwerte durch den Einsatz der OPC UA CS

Die Mehrwerte durch den Einsatz der OPC UA CS liegen sowohl in der horizontalen als auch in der vertikalen Integration. In dem Szenario der Produktionszelle profitiert der Betreibende der Produktionszelle, aber auch Systemintegratorinnen und -integratoren.

Technikerinnen und Techniker sowie **Systemintegratorinnen und -integratoren** profitieren durch die Standardisierung der Schnittstellen. Im Gegensatz zu proprietären Schnittstellen entfallen durch die OPC UA CS aufwändige Änderungen bzw. Anpassungen bei der Vernetzung bzw. Integration der Maschinen- und Anlagen. Werden Messergebnisse des Koordinatenmessgerätes von Seiten des Qualitätsmanagements benötigt, so können die Resultate durch den standardisierten Informationszugriff leicht abgerufen werden. Fällt das Koordinatenmessgerät aus und muss es ersetzt werden, so kann schon während der Lieferzeit die Integration, über die vom herstellenden Unternehmen zur Verfügung gestellte AAS erfolgen. Dafür werden Informationen innerhalb des Teilmodells des OPC UA Server Datasheet bereitgestellt. Dies dient der verbesserten Planung der Maschinenintegration (vergleiche Abschnitt 6). Zudem minimiert die Standardisierung über die OPC UA CS das Risiko von Vendor Lock-in-Effekten (Herstellerabhängigkeiten) und erhöht somit die Resilienz der Lieferketten. Hierdurch werden Ausfallzeiten signifikant verkürzt.

Dem **Einkauf** ergibt sich der Vorteil, dass anhand der in den OPC UA CS enthaltenen Maschinendaten alle notwendigen Anforderungen leicht und fehlerfrei bestimmt werden können (z. B. Größe des Arbeitsraumes der Werkzeugmaschine oder Eigenschaften des Messkopfes des Koordinatenmessgerätes). Hierdurch vereinfacht sich die betriebsinterne oder externe Kommunikation, beispielsweise bei Rücksprache mit Systemintegratorinnen und -integratoren sowie bei der etwaigen Abfrage der Maschinenanforderungen bei maschinen- und anlagenherstellenden Unternehmen.

Die OPC UA for Machinery stellt unter anderem Informationen zum Maschinenstatus zur Verfügung - und somit die Datengrundlage zur Berechnung von KPIs nach ISO 22400 wie z. B. die Gesamtanlageneffektivität. Durch die standardisierte vertikale Anbindung durch die OPC UA for Machinery in ERP-Systeme steht der **Geschäftsführung** die Datengrundlage zur Erfassung der KPIs der Maschinen- und Anlagen jederzeit zur Verfügung.

Der **Produktionsleitung** wird durch die OPC UA for Machinery eine effiziente Arbeitsplanung ermöglicht, da die verfügbaren Fertigungskapazitäten sowie die Maschinenspezifikationen jederzeit abrufbar sind.

Für **maschinenherstellende Unternehmen** sowie **Systemintegratorinnen und -integratoren** ergeben sich durch die OPC UA CS standardisierte und sichere Lösungen zur Ferndiagnose der Maschinen und Anlagen. Hierbei können die maschinennutzenden bzw. anlagenbetreibenden Unternehmen über Aggregationsserver die in den OPC UA CS standardisierten Informationen zur Maschinenüberwachung, mit Zertifikaten signiert und verschlüsselt, den maschinenherstellenden Unternehmen bzw. Unternehmen der Systemintegration bereitstellen (BMW, 2018).

5. Mehrwerte für die verschiedenen Stakeholder

Bisher wurden im Leitfaden die technischen Anforderungen und Möglichkeiten des Einsatzes von OPC UA CS aufgezeigt. Diese wurden im vorherigen Kapitel exemplarisch an zwei Szenarien abgebildet. Daran anschließend ist es das Ziel dieses Kapitels, zuerst die relevanten Nutzergruppen zu identifizieren und anschließend die Mehrwerte für die verschiedenen Nutzergruppen (Stakeholder) aufzuzeigen.

Die Nutzergruppen, welche an den Mehrwerten durch die Verwendung bzw. den Einsatz der Weltsprache der Produktion partizipieren können, sind alle direkt oder indirekt Teilnehmende einer Produktion. Dies umfasst sowohl organisatorische Einheiten als auch direkte Tätigkeitsprofile (Eine ausführliche Beschreibung der Tätigkeitsprofile ist im Anhang zu finden). Welche Mehrwerte sich aus der Nutzung von OPC UA mit CS ergeben ist auch abhängig von der Perspektive auf konkrete Maschinen. Zum einen können Personen und Unternehmen Herstellende von Maschinen oder zum anderen die Nutzende dieser sein. Beides kann jedoch auch gleichzeitig der Fall sein, wenn Maschinen in der Produktion weitere Maschinen produzieren. Um den Unterschied zwischen diesen Perspektiven und damit auch die unterschiedlichen Mehrwerte hervorzuheben, wird in den folgenden Abschnitten suggeriert, dass Unternehmen entweder Maschinen herstellen oder Maschinen nutzen.

Hierbei produzieren **maschinenherstellende Unternehmen** Komponenten, Maschinen, Module sowie Anlagen und bringen diese in den Markt. Hierfür suchen maschinenherstellende Unternehmen nach neuen Geschäftsmodellen, um wiederkehrende Einnahmen zu generieren. Sie entwickeln, produzieren und verkaufen Gerätetypen, die häufig über abwärtskompatible Versionen, mit überarbeiteter Hardware und inkrementellen Funktionserweiterungen, verfügen. Die Hauptanliegen eines maschinenherstellenden Unternehmens betreffen die Herstellungskosten, die Zeitdauer bis zur Markteinführung, die Leistung des Produkts in seiner Zielanwendung sowie die Fähigkeit, Funktionen zu implementieren, die über die Basisfunktionen hinausgehen. (Paul Brooks et al., 2020). Dem gegenüber bildet ein **maschinennutzendes Unternehmen** die Endkundschaft einer Automatisierungsbzw. einer Produktionsmaschine ab. Somit ist dieses am meisten an der Betriebsphase des Lebenszyklus eines solchen Automatisierungssystems interessiert und wird Standardisierungsentscheidungen treffen, um diese Lebenszykluskosten zu verbessern. (Paul Brooks et al., 2020)

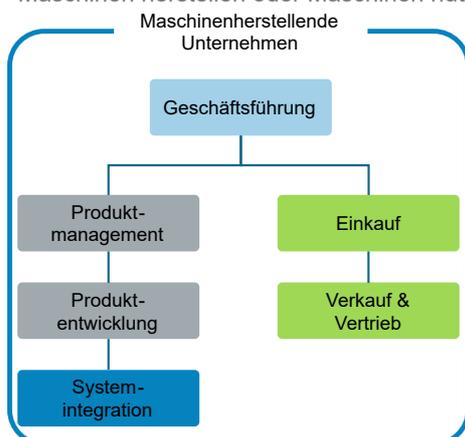


Abbildung 15: Stakeholder von maschinenherstellenden Unternehmen

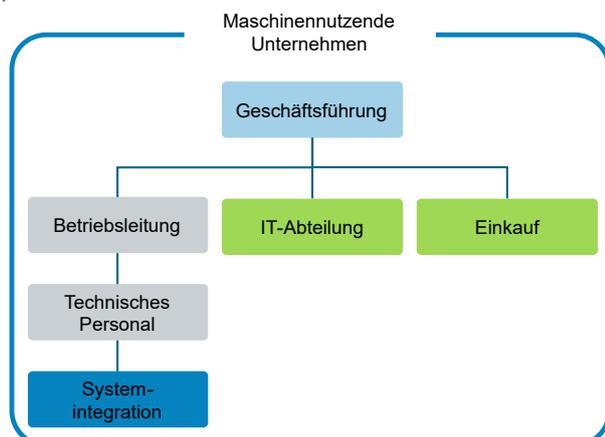


Abbildung 16: Stakeholder von maschinennutzenden Unternehmen

Anhand der organisatorischen Nutzergruppen lassen sich spezifische Stakeholder ableiten, wie sie in der Abbildung 15 und Abbildung 16 dargestellt sind. Innerhalb beider Unternehmen sind durch den Einsatz von OPC UA CS sowohl Mehrwerte für technisches Personal als auch für nicht technisches Personal identifizierbar.

Aus den verschiedenen Rollenbeschreibungen leiten sich für die Nutzergruppen spezifische Mehrwerte durch OPC UA CS ab, welche in (VDMA, 2021) eingeführt und durch die hier aufgezeigten Mehrwerte erweitert werden. Für diese Nutzergruppen werden auf den folgenden Seiten ausgewählte Mehrwerte tabellarisch dargestellt.

Maschinenherstellende Unternehmen

Geschäftsführung



- Die **Verringerung der Integrationsaufwände für die Endkundschaft** steigert die Attraktivität eines Unternehmens gegenüber Wettbewerbern und ermöglicht somit die Sicherung bestehender und den Ausbau neuer Marktanteile.
- **OPC UA bietet standardisierte Mechanismen** für die Kommunikation vom Shopfloor bis in IoT-Plattformen. Die Standardisierung in Informationsmodellen über Maschinen- und Anlagenherstellende hinweg ermöglicht die Entwicklung von Applikationen, welche unabhängig anwendbar sind.
- Der **Einsatz von OPC UA CS fördert das Produktgeschäft**, d.h. der Verkauf an mehrere Kunden mit einer ähnlichen Grundkonfiguration ist möglich.
- Die OPC UA-Technologie enthält **Security by Design** (OPC Foundation, 2022c), d.h. dass einige IT-Sicherheitsanforderungen automatisch mit dem Einsatz von OPC UA erfüllt sind.
- Die Verwendung von OPC UA CS ermöglicht das **Prinzip "Ein Stecker für viele Anwendungen"**, wie es durch die USB-Schnittstelle (z. B. Drucker) ermöglicht wird. Übertragen auf Maschinen bedeutet dieses Prinzip, dass durch OPC UA mit CS eine vereinheitlichte Schnittstelle kompatibel mit einer Vielzahl anderer Maschinen und Anlagen möglich ist. Somit können neue Kundenkreise adressiert werden.

Verkauf und Vertrieb



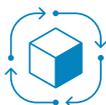
- Der Einsatz von OPC UA, welche den **Security by Design Ansatz** unterstützen, kann als zusätzliches Verkaufsargument genutzt werden.
- Möglichkeit des Angebots einer **Data Service-Schnittstelle**, wodurch beispielsweise Bestandskunden ein verbesserter Service ermöglicht wird.
- Die **Abwärtskompatibilität** von OPC UA bietet die Möglichkeit neue Maschinen oder Anlagen mit älteren Modellen (Retrofit) zu kombinieren.

Einkauf



- Vergleichbarkeit von Produktionsoptionen über Hersteller hinweg vereinfachen die Beschaffung.
- Die **Verbesserung der Vergleichbarkeit** der Komponenten durch die Standardisierung im Rahmen der OPC UA CS.
- Die größere Auswahl der möglichen Zulieferer erhöht die **Lieferkettenresilienz** des Unternehmens.

Produktmanagement



- Die Möglichkeit von **Vendor Specific Extensions** erlaubt eigene Erweiterungen der standardisierten OPC UA Schnittstellen, um sich im Markt zu differenzieren (Migrationsschritt 3).
- Durch den Einsatz von OPC UA CS ist eine **vereinheitlichte Berechnung unternehmensinterner KPIs** möglich.
- Die Berücksichtigung von OPC UA CS in Product Requirements gewährleistet eine **vereinfachte Anforderungsentwicklung**.
- Ein **leichterer und verkürzter Produktentwicklungsprozess** durch die Standardisierung mit OPC UA CS wird ermöglicht.
- Die **Verbesserung der Sicherheit** eines Produktes durch die Sicherheitsaspekte, welche der Einsatz von OPC UA Sicherheitsmechanismen (Security by Design) mitbringt, kann gewährleistet werden.

- Einsatz nachhaltiger Technologie durch OPC UA, welche kontinuierlich weiterentwickelt wird.

Produktentwicklung



- Die Spezialisierung auf einen Standard ermöglicht eine **schnelle und funktionale Produktentwicklung**, da die Kommunikationsschnittstelle nicht kundenindividuell entwickelt werden muss.
- **Verringerter Integrationsaufwand beim Kunden** durch die Integration von OPC UA CS in die Komponenten, Maschinen und Anlagen wird ermöglicht.
- **OPC UA CS sind im Workflow** der Entwicklung eines OPC UA-Servers als maschinenlesbare Templates verfügbar.

Tabelle 1: Mehrwerte für maschinenherstellende Unternehmen

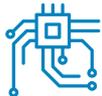
Unternehmen mit Maschinennutzung

Geschäftsführung



- Die **Investitionssicherheit** in neue Maschinen und Anlagen wird durch die standardisierte Technologie der OPC UA CS verbessert.
- Durch den Einsatz von Maschinen mit integrierten OPC UA CS **sinken die Integrationskosten** neuer Maschinen.
- Informationen werden standardisiert, herstellerübergreifend in den Maschinen repräsentiert, wodurch die Berechnung von **KPIs vergleichbarer** ist.
- Verbesserter Wissenserhalt und leichtere Weiterentwicklung von Kommunikationsschnittstellen durch die Umsetzung von OPC UA und OPC UA CS in den Produkten eines Unternehmens erhöht die **Zukunftssicherheit** durch den Einsatz standardisierter Technologie.
- Die OPC UA-Technologie enthält **Security by Design** (OPC Foundation, 2022c), d. h. dass einige IT-Sicherheitsanforderungen automatisch mit dem Einsatz von OPC UA erfüllt sind.

IT-Abteilung



- OPC UA mit **Security by Design** (OPC Foundation, 2022c) stellt standardisierte IT-Sicherheitsmechanismen zur Zugangssteuerung, wie dem Einsatz von Zertifikatsservern, zur Verfügung.
- Die Sicherheitsmechanismen der OPC UA-Technologie **erfüllen hohe Anforderungen an die IT-Sicherheit** eines Unternehmens durch den Security by Design Ansatz.

Einkauf



- **Erhöhte Lieferantenauswahl und vereinfachter Ausschreibungsprozess** bei der Beschaffung von Maschinenkomponenten, was eine **Vermeidung von Vendor Lock-in-Effekten** ermöglicht.
- **Vereinfachung von Anforderungsanalysen** für Zulieferunternehmen durch die Integration von Komponenten mit OPC UA CS aufgrund erhöhter Interoperabilität der Komponenten.

Betriebsleitung



- Die **Erhöhung der Zukunftssicherheit** durch die Standardisierung gewährleistet eine verbesserte Investitionssicherheit.
- Der erleichterte Zugang zu Daten und die bessere Transparenz der Daten ermöglichen eine **Verbesserung der Datenverfügbarkeit**.
- Die semantischen Informationsmodelle der OPC UA CS und die verbesserte Datenqualität führen zu einer **Erhöhung des Informationsgehaltes** der verfügbaren Daten.
- Die Verbesserung der Datenverfügbarkeit und Standardisierung sorgt für eine **Verbesserung der wirtschaftlich-technischen Skalen-Effekte** des Betriebs, d. h. es ist möglich mehr Produkte bei gleicher Zeit und gleichem Bedarf zu produzieren.
- Die Verbesserung der Datenverfügbarkeit ermöglicht eine **erleichterte KPI-Analyse** gemäß ISO 22400.
- **OPC UA mit Security by Design** (OPC Foundation, 2022b) stellt standardisierte IT-Sicherheitsmechanismen zur Verfügung.

- Der Einsatz von OPC UA CS ermöglicht eine **Verringerung von Investitionskosten**, durch die Senkung der Aufwände bei der Integration von Maschinen und Komponenten.
- Die Vermeidung von Vendor Lock-in-Effekten führt zu einer Verbesserung der Second Source, wodurch die **Lieferkettenresilienz erhöht** wird.

Technisches Personal



- Der Einsatz von OPC UA CS **vereinfacht die Inbetriebnahme**, z. B. durch die Reduzierung der Integrationsaufwände, da Schnittstellen nicht zu jeder einzelnen Maschine neu implementiert werden müssen.
- Verbesserte Wiederverwertbarkeit von OPC UA CS-Schnittstellen **vermindert den Integrationsaufwand** durch Skalierbarkeit und verbesserte Anwendbarkeit bei neuen Maschinen.
- Die **konfigurierbare IT-Security** ermöglicht die Erstellung von Nutzerkonten und erhöht somit die IT-Sicherheit, z. B. durch Beschränkung unbefugter Zugriffe an einer Maschine.
- Die Standardisierung ermöglicht die **Vereinfachung und Verkürzung der Lastenhefterstellung**, wodurch interne Prozesse effizienter werden.
- Mit OPC UA CS können generische **Applikationen offline, bereits vor Lieferung der zugehörigen Maschine, erstellt** werden.

Tabelle 2: Mehrwerte für Unternehmen mit Maschinennutzung

Systemintegratorinnen/Systemintegratoren



- Durch die Verwendung von OPC UA CS kann die Systemintegration als Dienstleistung günstiger angeboten werden, woraus **Vorteile gegenüber Wettbewerbern** entstehen, da Vorarbeiten aus anderen Projekten genutzt werden können.
- Durch die domänenübergreifende Harmonisierung und den damit einhergehenden einheitlichen Einsatz von OPC UA CS wird ein **vergrößertes Produktportfolio** ermöglicht, welches für die Systemintegration angeboten werden kann.
- Die standardisierten Schnittstellen **verringern die Einarbeitung in proprietäre Standards**, so dass nicht jeder Auftrag komplett „neu“ begonnen werden muss.
- Dienstleistende der Systemintegration können weiterhin durch Vendor Specific Extensions (Migrationsschritt 3) auf **individuelle Kundenanforderungen** eingehen.
- Bereitgestellte Produkte weisen mittels eines Zertifikats ihre geprüften Fähigkeiten aus, dies erleichtert eine Validierung der eingesetzten Produkte. Die Erfüllung der **Nachvollziehbarkeit von funktionellen Sicherheits- und Qualitätsstandards** kann garantiert werden.

Tabelle 3: Mehrwerte für Systemintegratorinnen und Systemintegratoren

6. OPC UA und die Asset Administration Shell

Zwei unterschiedliche aber komplementäre Technologien

Der Leitfaden stellt in den vorherigen Kapiteln die Funktion der OPC UA-Technologie dar und zeigt anhand von Szenarien die Mehrwerte für die Stakeholder des Maschinen- und Anlagenbaus auf. Weiterführend bietet der Einsatz dieser Technologie die Möglichkeit, nicht nur Daten und Informationen während der Produktnutzungsdauer zu erhalten, sondern diese zu nutzen, um mit deren Hilfe die Produktlebenszyklusdaten einer Maschine oder Anlage weiter anzureichern. Eine Möglichkeit hierfür bietet die Asset Administration Shell.

als auch virtuelles Objekt handeln. Um ein ganzheitliches Abbild darzustellen, begleitet die AAS das jeweilige Asset von der Produktentstehung bis zum Lebensende über den gesamten Produktlebenszyklus. Die Kombination aus einem Asset und einer AAS wird als Industrie 4.0-Komponente (siehe Abbildung 17) bezeichnet. Dadurch dient sie als Enabler für die Abbildung einer ganzheitlichen Wertschöpfungskette.

In der AAS liegen Informationen in zugehörigen Submodellen, wie beispielsweise einem dem Produkt zugeordneten Product Carbon Footprint-Submodell, vor. Diese bilden den Lebenszyklus eines Assets unternehmensübergreifend ab. Die Entwicklung neuer Vorlagen für Submodelle, den sogenannten Submodel Templates (SMT), wird von der International Digital Twin Association (IDTA) koordiniert. Ähnlich zu den OPC UA Working Groups tragen Arbeitsgruppen aus einer globalen Gemeinschaft von Unternehmen zur Entstehung der SMT bei. Darüber hinaus existieren in der IDTA Gruppen für die Organisation von Schulungen, Definition von Anwendungsfällen und Marketing.



Abbildung 17: Die Industrie 4.0 Komponente

Die AAS ist eine digitale Repräsentation eines Assets im Kontext von Industrie 4.0. Bei einem Asset kann es sich sowohl um ein physisches

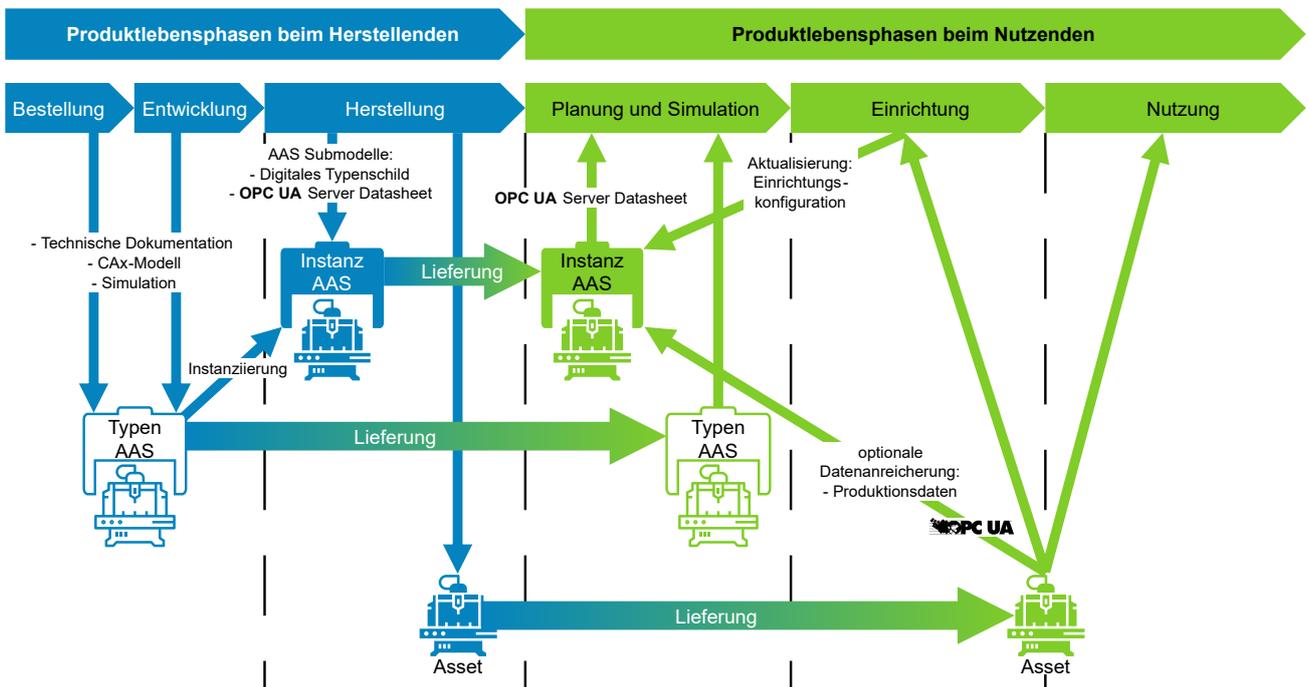


Abbildung 18: Nutzung von OPC UA und der AAS im Produktlebenszyklus

Abbildung 18 visualisiert die ganzheitliche Betrachtung eines Assets mit Hilfe der komplementären Technologien OPC UA und AAS über alle Produktlebensphasen hinweg. Dabei speichert eine Typen AAS Informationen wie technische Dokumentationen oder Simulationsdaten, die für alle Instanzen eines Assets zutreffend sind. Die assetspezifische Instanz AAS enthält Informationen, die für ein konkretes Asset gelten. Dabei referenziert sie auf ihre zugehörige Typen AAS.

Mithilfe der AAS können Informationen bzgl. eines Assets Kunden zur Verfügung gestellt werden.

Die Typen AAS speichert folglich die Informationen aus Bestellung, Entwicklung und Herstellung eines Assets, die während der Produktdefinition anfallen. Im Zuge des Herstellungsprozesses wird die Instanz AAS mit spezifischen Informationen wie dem digitalen Typenschild angereichert. Ebenfalls kann der AAS in dieser Lebensphase ein Submodell hinzugefügt werden, welches das OPC UA Server Datasheet darstellt. Dieses stellt dem Nutzenden des Assets einen Überblick über die Gestaltung des zugehörigen OPC UA-Server-Interfaces bereit. Das OPC UA Server Datasheet beinhaltet die Informationen zum Auffinden und Zugreifen auf den OPC UA-Server mit Hilfe von Beschreibungen des OPC UA-Server-Endpunkts und dessen Sicherheitsrichtlinien. Ebenso enthält es den implementierten Inhalt des OPC UA-Servers, beispielsweise durch die Beschreibung der Namespaces oder der implementierten Profile. Somit können Nutzende einer Maschine oder Anlage mit diesen Informationen vorbereitende Tätigkeiten durchführen. Solche sind bspw. die Planung der Integration ins Unternehmensnetzwerk durch den Aufbau und die Konfiguration der IP-Kommunikation inkl. IT-Security sowie die Entwicklung von Applikationen, die das Interface nutzen. Die bei der Einrichtung getroffenen Anpassungen der Netzwerkkonfigurationen werden in der Instanz der AAS hinterlegt.

Nach der Auslieferung des Assets können mit OPC UA die Submodelle in der AAS um Daten angereichert werden, welche für den Lebenszyklus relevant sind.

Beschreibende Daten über ein Asset lassen sich aus den Submodellen der AAS entnehmen. Auf diese kann beispielsweise von Produktdatenmanagementsystemen (PDM-System) oder Product Information Management-Systemen (PIM-System) mittels HTTP zugegriffen werden. Mit Hilfe von OPC UA können Produktionsdaten wiederum direkt aus der Maschine genutzt werden, um diese mit Hilfe von Human Machine Interfaces (HMI) und Supervisory Control and Data Acquisition-Systemen (SCADA) zu visualisieren oder an IoT-Plattformen zu übertragen (vgl. Abbildung 19). Letztere können zur Analyse von Zeitreihendaten direkt per OPC UA Pub/Sub mittels MQTT befüllt werden.

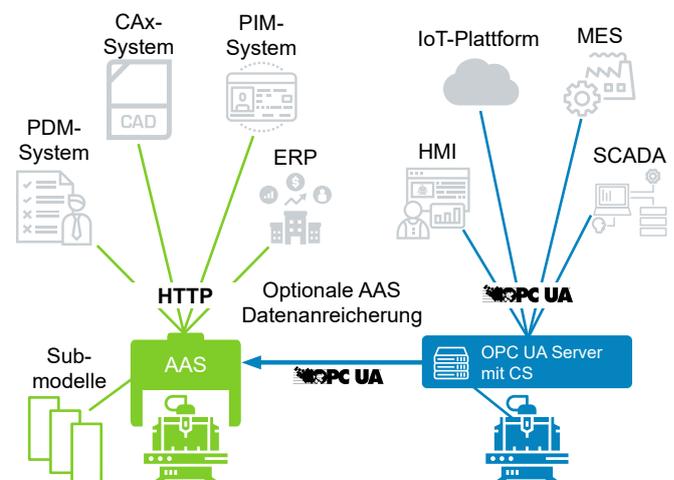


Abbildung 19: Typische Nutzeranwendungen von der AAS und OPC UA in der Industrie

Die AAS enthält zunächst Informationen aus den Phasen der Produktentstehung. Mittels OPC UA können diese Produktlebensdaten während der Wertschöpfung durch Produktionsdaten angereichert werden. Hierzu müssen keine rohen Zeitreihendaten in die AAS übertragen werden, da ein in der AAS enthaltenes Submodell der Time Series Data direkt auf die Datensinke in der IoT-Plattform verweisen kann.

7. OPC UA in Datenräumen und digitalen Ökosystemen

Der nächste Schritt von Industrie 4.0

Der nächste Schritt in der Weiterentwicklung von Industrie 4.0 ist die Adaption und Umsetzung von globalen und digitalen Datenräumen sowie Ökosystemen, welche den Austausch von Daten und die Nutzung von Services standardisiert zwischen wertschöpfenden Partnerunternehmen ermöglichen. Dazu sind drei Grundprinzipien (siehe Abbildung 20) von zentraler Bedeutung: Souveränität, Interoperabilität und Nachhaltigkeit (BMW, 2019a). Souveränität setzt dabei eine offene und sichere IT-Infrastruktur voraus, um freie und unabhängige Entscheidungen der Ökosystemteilnehmer zu gewährleisten. Interoperabilität ermöglicht die Zusammenarbeit von mehreren Parteien über Unternehmens- und Branchengrenzen hinweg. Dazu bedarf es etablierter Standards. Nachhaltigkeit bezieht sich in diesem Kontext nicht nur auf Umweltaspekte. Eine zukunftssichere Lösung muss insbesondere auch im Hinblick auf ökonomische und soziale Aspekte nachhaltig sein.

Die Souveränität wird durch die integrierte IT-Sicherheit (Security by Design) sichergestellt. Die Interoperabilität wird durch System- und Plattformunabhängigkeit, ein standardisiertes Nutzen unterschiedlicher Kommunikationsarten (Client-Server oder Pub-Sub) sowie standardisierter Inhalte durch OPC UA Companion Specifications erreicht. Aus diesem Grund eignet sich OPC UA als Grundstein von souveränen digitalen Ökosystemen.

Mit dem Digital-Gipfel des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie startete im Jahr 2019 die Initiative Gaia-X, welche zur Erreichung der Ziele der europäischen Datenstrategie beiträgt (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2020). Dabei stellt Gaia-X keinesfalls eine eigene Cloudlösung dar. Stattdessen wird an einem Rahmenwerk für föderierte Systeme gearbeitet. Dieses beschreibt die Voraussetzungen für einen sicheren, souveränen und nachhaltigen Austausch von Daten sowie die Bereitstellung und Nutzung von Services. Auf diese Weise werden Big Data-Lösungen nutzbar, während gleichzeitig die Hoheit über die eigenen Daten erhalten bleibt (VDMA, 2021).

Der verbreitete Standard OPC UA erfüllt die Grundprinzipien Souveränität, Interoperabilität und Nachhaltigkeit von digitalen Ökosystemen bereits heute.



Abbildung 20: Vision für Industrie 4.0 basierend auf (BMW, 2019a)

Der Fokus von Gaia-X liegt in hohem Maße auf Transparenz. Wesentliche Bestandteile dafür sind die sogenannten Selbstbeschreibungen, deren grundlegender Inhalt im Trust-Framework (Gaia-X Lab, 2022) beschrieben ist. Diese Selbstbeschreibungen greifen die beschreibende Funktion der serviceorientierten Architektur (SOA) und Informationsmodelle auf. Sie enthalten Metadaten zu einer Entität, aus denen Rückschlüsse auf deren Art, den benötigten Input sowie den zu erwartenden Output ermöglicht werden. Zum ausführlichen Befüllen sollen in Zukunft in der jeweiligen Branche etablierte Modelle, wie diejenigen der OPC UA Companion Specifications, Anwendung finden.

Die offene Verfügbarkeit der OPC UA CS sowie ihre beschreibende Funktion erfüllen die Anforderungen an digitale Ökosysteme.

In diesen müssen Schnittstellen wohl definiert und deren Beschreibungen frei zugänglich sein. Nur so ist eine nahtlose Zusammenarbeit möglich. Durch eine Referenzierung der in den OPC UA CS enthaltenen Informationsmodelle in den Selbstbeschreibungen sind Serviceangebote eindeutig nachvollzieh- und interpretierbar. Frei zugängliches Zurverfügungstellen der verwendeten Modelle gewährleistet die von der Initiative anvisierte semantische Interoperabilität. Voraussetzung dafür ist es, das Vokabular der Selbstbeschreibung in einer menschen- und maschinenlesbaren Form zu referenzieren. Somit ist eine Überführung der Daten in verschiedene Modelle möglich. Dieser Schritt entspricht dem in Abbildung 1 dargestellten „**Migrationschritt 3: Erweitertes Informationsmodell**“ des Werkzeugkastens für die Industrie 4.0-Kommunikation.

Sowohl innerhalb als auch zwischen Ökosystemen, die nach dem Rahmenwerk der Initiative Gaia-X aufgebaut sind, sind Daten effektiv und gewinnbringend verwendbar. Zunächst ermöglichen die Anforderungen der Ökosysteme einen sicheren und souveränen Datenaustausch entsprechend dem europäischen Recht. Um moderne Algorithmen zur Prozessüberwachung anzuwenden, spielen zumeist Zeitreihendaten eine Rolle. Diese sind über die OPC UA-Server verfügbar (vgl. Abbildung 21).



umati – ein erster Datenraum von Maschinen

Die Referenzimplementierung umati stellt den ersten interoperablen Datenraum von Maschinen dar. Alle beteiligten Maschinen nutzen dabei Schnittstellen basierend auf OPC UA CS und stellen nach eigenem Belieben Daten zur Verfügung. Betrieben wird dieser von einer Community von Unternehmen aus der ganzen Welt, mit dem Ziel gemeinsame Implementierungen von OPC UA CS zu entwickeln. (Plattform Industrie 4.0, 2023)

Grundsätzlich sind mit diesem Bezug zwei verschiedene Ansätze denkbar. Zunächst können diese Algorithmen als Services On-Premise beispielsweise auf einem Edge-Device an der Maschine oder einer eigenen Cloud-Instanz ausgeführt werden. Dieser Ansatz wird als **Compute-to-Data** bezeichnet, da hierbei der Service zum Ablageort der Daten transferiert wird. Die Daten können dabei per OPC UA bereitgestellt werden. In diesem Rahmen sind damit auch Echtzeitanwendungen denkbar. Dieses Zusammenspiel wurde beispielsweise im Gaia-X-Leuchtturmprojekt EuProGigant umgesetzt.

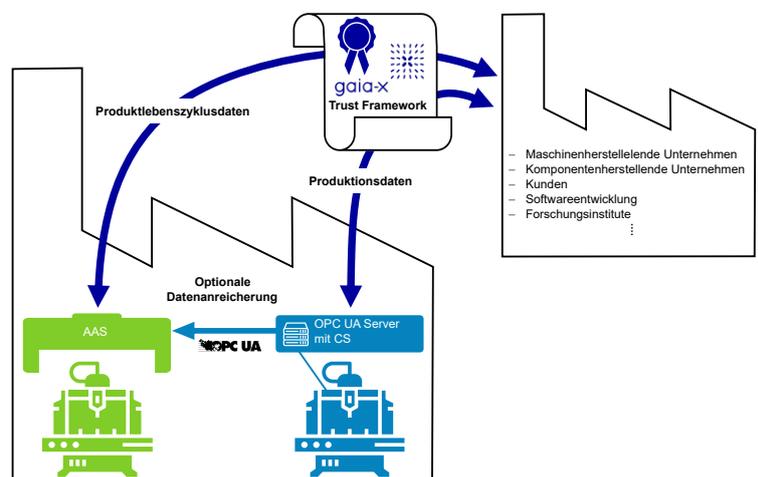


Abbildung 21: OPC UA und AAS in digitalen Ökosystemen

Alternativ dazu kann der **Data-to-Compute**-Ansatz verfolgt werden. Im Gegensatz zum Compute-to-Data-Ansatz werden die Daten hier zum Service geschickt, wie es beispielsweise beim Cloud Computing üblich ist. Auch dies kann ab einem OPC UA-Server erfolgen. Die AAS mit ihren Submodellen kann dabei in beiden Ansätzen zur Befähigung von Services über Unternehmensgrenzen hinweg genutzt werden.

Der Datenaustausch in den Ökosystemen ist keineswegs auf Services in Verbindung mit Algorithmen beschränkt. Ebenfalls sind Services zum Datenaustausch zwischen mehreren Beteiligten möglich. Dies ermöglicht den Nutzenden von Maschinen und Anlagen neue Geschäftsmodelle durch das öffentliche Zurverfügungstellen von realen Produktionsdaten. Auf deren Basis wiederum kann eine stetige Weiterentwicklung von Komponenten und Services durch maschinenherstellende Unternehmen sowie Forschungsinstitute erfolgen. Die ausgetauschten Daten können dabei Produktionsdaten in Form von Zeitreihen sein, aber auch die in der AAS enthaltenen Daten aus dem Produktlebenszyklus eines Assets.

Datenräume und digitale Ökosysteme bestimmen die Zukunft der produzierenden Industrie. Sie befähigen Europa, in Zukunft wettbewerbsfähig zu sein.

OPC UA ist ein sinnvoller Bestandteil von digitalen Ökosystemen und verbreitet sich immer weiter in der Verfahrenstechnik und der diskreten Fertigung.

Es ist in Unternehmen bis auf die Ebene der Feldgeräte vertreten. Ein Beispiel dafür ist die Referenzimplementierung umati, die als interoperabler Datenraum vollständig auf den OPC UA CS basiert.

Durch Initiativen wie Manufacturing-X wird OPC UA zukünftig auch in den Data Spaces eine zentrale Rolle einnehmen. Die Initiative Manufacturing-X hat das Ziel, als souveräner Datenraum die Ausrüsterindustrie sowie deren Kundenindustrie abzudecken. Durch die unternehmensübergreifende Vernetzung, bei gleichzeitiger Erhaltung der Souveränität über die eigenen Daten, lassen sich Effizienzpotenziale entlang der gesamten Wertschöpfungskette identifizieren und heben. Die Grundlage hierfür bildet die Standardisierung der Datenströme. Aus diesem Grund wird OPC UA einen erheblichen Beitrag zur Steigerung der Agilität, Geschwindigkeit und Fokussierung auf wertschöpfende Prozesse leisten (VDMA, 2022a). Im Rahmen der Initiative wird die Umsetzung von Anwendungen priorisiert, welche ohne eine Vernetzung wirtschaftlich nicht möglich wären. Als Nährboden für innovative Geschäftsmodelle stellt Manufacturing-X die Brücke zwischen Dateninseln dar und fördert daher die unternehmensübergreifende Wertschöpfung.

8. Anhang - Beschreibung der Stakeholder

Geschäftsführung



Die Geschäftsführung, als Leitungsebene eines Unternehmens, trifft Entscheidungen vorrangig aus nichttechnischen Gründen. Dabei werden die Geschäftsstrategie sowie die Ausrichtung und finanzielle Auswirkungen auf den Betrieb berücksichtigt. Ein Unternehmen wird die Gesamtaufwände für den Einsatz seiner Maschinen, einschließlich der Inbetriebnahme und der Möglichkeit für Dienstleistungen auf Jahresbasis, kalkulieren. (Paul Brooks et al., 2020)

Verkauf & Vertrieb



Der Vertrieb eines Unternehmens macht Marktanalysen, entwickelt Verkaufsstrategien und sorgt für die Kundenbindung. Des Weiteren werden neue potenzielle Kundinnen und Kunden identifiziert sowie Angebote erstellt. Der Vertrieb bildet ein zentrales Element für den Verkaufserfolg. (Jennifer Haeupler, 2020)

Einkauf



Das Ziel des Einkaufs eines Unternehmens ist zweigeteilt. Zum einen der operative Einkauf, welcher für die Administration des Einkaufs, d.h. Verhandlung von Preisen und Konditionen, die Ausschreibung von Bestellungen und deren Vergabe, zuständig ist. Zum anderen der strategische Einkauf, worunter die analytische Planung zu verstehen ist. Dies bezieht Lieferantinnen- und Lieferantenbewertungen, die Verhandlung von Konditionen und Preisen ein. (Ulrich Kessler, 2023)

Produktmanagement



Das Produktmanagement ist für die Planung, Koordination, Vermarktung und Kontrolle der Produkte verantwortlich. Dies reicht von der Neueinführung bis zur Weiterentwicklung existierender Produkte. Darüber hinaus fungiert das Produktmanagement als Schnittstelle zwischen Marketing und Vertrieb sowie

Fertigung und Entwicklung. Dabei orientiert sich das Produktmanagement an den Bedürfnissen der Kundinnen und Kunden. (Torsten Klanitz, 2023)

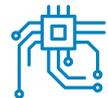
Produktentwicklung

Die Produktentwicklung ist unter anderem bei der Priorisierung von Entwicklungen beteiligt. Dabei berücksichtigt sie den Zeitaufwand und die Komplexität, welche für die Implementierung einer Technologie erforderlich ist. Darüber hinaus bewertet die Produktentwicklung die Leistungen, welche durch neue Produkte oder Entwicklungen erbracht werden können. (Paul Brooks et al., 2020)



IT-Abteilung

Zu den Aufgaben der IT-Abteilung eines Unternehmens gehören unter anderem die Anforderungsanalyse von IT-Systemen, die Ressourcenplanung, sowie das Portfoliomanagement von Softwarediensten. Darüber hinaus liegt die Kontenverwaltung, Netzwerkadministration und die Einhaltung von IT-Sicherheits- und DSGVO-Anforderungen in ihrem Aufgabenbereich. (ahd GmbH & Co. KG, 2021)



Betriebsleitung

Die Betriebsleitung ist verantwortlich für das Budget einer Investition. Im Rahmen dieser Aufgabe (während des Lebenszyklus einer Investition) wird unter anderem die Markteinführungszeit eines Produkts sowie das erforderliche Kapital zur Produktionsaufnahme (Interoperabilität wirkt sich darauf aus) berücksichtigt. Des Weiteren müssen Betriebskosten, die Effektivität und Anpassungsfähigkeit an Neukonfigurationen berücksichtigt werden. (Paul Brooks et al., 2020)



Technisches Personal



Technikerinnen und Techniker verfügen in der Regel über fundierte Kenntnisse über einen bestimmten Anlagentyp. Sie sind in der Lage diesen Anlagentyp für bestimmte Anwendungen einzurichten. Nach dem Abschluss der Arbeit muss die erstellte Konfiguration über den gesamten Lebenszyklus des Geräts erhalten bleiben und darüber hinaus auf Anlagen gleichen Typs übertragen werden können. (Paul Brooks et al., 2020)

Systemintegratorinnen und -integratoren



Systemintegratorinnen und -integratoren übernehmen die Verantwortung für die funktionsfähige Inbetriebnahme einer gesamten Anlage. Dabei übernehmen sie eine Schlüsselrolle für das Steuerungs- und Automatisierungssystem, entweder für eine Anlageneinheit oder für ein einzelnes Gerät. (Paul Brooks et al., 2020). Diese Aufgabe übernehmen, neben darauf spezialisierten Dienstleistungsunternehmen, oft auch die Unternehmen der Maschinenherstellung selbst.

Projektpartner / Impressum

VDMA

Machine Information Interoperability

Lyoner Str. 18
60528 Frankfurt am Main
E-Mail: mii@vdma.org

Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW), Technische Universität Darmstadt

Otto-Berndt-Str. 2
64287 Darmstadt

Projektleitung

Johannes Olbort, VDMA
Martin Lindner, TU Darmstadt, PTW

Beteiligte Unternehmen und Vereine

Tuğrul Öztürk, TU Darmstadt, PTW
Robin Zink, TU Darmstadt, PTW
Viktor Berchtenbreiter, TU Darmstadt, PTW
Willi Wünschel, TU Darmstadt, PTW
Tim Frieß, TU Darmstadt, PTW
Matthias Weigold, TU Darmstadt, PTW
Thomas Dasbach, VDMA e.V.
Andreas Faath, VDMA e.V.
Stefan Hoppe, OPC Foundation
Eugen Schibli, Mettler-Toledo GmbH
Bernd Fiebiger, KUKA Deutschland GmbH
Sebastian Friedl, FVA GmbH
Tiberiu Dobai, Carl Zeiss Industrielle
Messtechnik GmbH
Daniel Fischer, Carl Zeiss Industrielle
Messtechnik GmbH
Timo Helfrich, Selfbits GmbH
Oliver Kuppler, Selfbits GmbH
Rüdiger Fritz, SAP SE
Markus Schoisswohl, Hegla New
Technology GmbH & Co KG

Layout

Jakob Albert, VDMA

Bildnachweis

Titelbild: Shutterstock

Grafiken

VDMA
PTW, TU Darmstadt

Erscheinungsjahr

2023

Copyright

PTW, TU Darmstadt
VDMA

Quellenverzeichnis

- ahd GmbH & Co. KG. (2021). *Was eine moderne IT-Abteilung auszeichnet*. ahd GmbH & Co. KG. <https://www.ahd.de/was-eine-moderne-it-abteilung-auszeichnet/>
- BMW. (2018). *Sichere Implementierung von OPC UA für Betreiber, Integratoren und Hersteller*. https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/hm-2018-opc.pdf?__blob=publicationFile&v=6
- BMW. (2019a). *Positionspapier Leitbild 2030 für Industrie 4.0*. <https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/Positionspapier%20Leitbild.html>
- BMW. (2019b). *Sichere unternehmensübergreifende Kommunikation mit OPC UA*. https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/sichere-kommunikation-opc-ua.pdf?__blob=publicationFile&v=13
- BSI. (2022). *Sicherheitsanalyse OPC UA*. https://www.bsi.bund.de/Shared-Docs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/Studien/OPCUA/OP-CUA_2022.pdf?__blob=publication-File&v=10
- Gaia-X Lab. (2022). *Trust framework - Gaia-X Trust Framework: 22.04 Release*. <https://gaia-x.eu/wp-content/uploads/2022/05/Gaia-X-Trust-Framework-22.04.pdf>
- Jennifer Haeupler. (2020). *Was sind die Aufgaben und Ziele im Vertrieb*. econsor GmbH. <https://vertriebs-optimierer.info/news/was-sind-die-aufgaben-und-ziele-im-vertrieb/>
- OPC Foundation. (2018). *Practical Security Guidelines for Building OPC UA Applications – OPC Connect*. <https://opcfoundation.org/wp-content/uploads/2017/11/OPC-UA-Security-Ad-vise-EN.pdf>
- OPC Foundation. (2019). *Robotics - Vertical Integration*. <https://reference.opcfoundation.org/Robotics/v100/docs/#1>
- OPC Foundation. (2020). *Machine Tools - Monitoring and Job Overview*. <https://reference.opcfoundation.org/v104/Machine-Tool/v100/docs/>
- OPC Foundation. (2021a). *Extending OPC UA to the field: OPC UA for Field eXchange (FX)*. OPC Foundation. <https://opcfoundation.org/wp-content/uploads/2020/11/OPCF-FLC-Technical-Paper-C2C.pdf>
- OPC Foundation. (2021b). *OPC UA Field Level Communications (FLC) News – OPC Connect*. OPC Foundation. <https://opcconnect.opcfoundation.org/2021/12/opc-ua-field-level-communications-flc-news/>
- OPC Foundation. (2022a). *Joint Working Groups*. OPC Foundation. <https://opcfoundation.org/joint-working-groups/>

- OPC Foundation. (2022b). *Machine Tools - Monitoring and Job Overview*. <https://reference.opcfoundation.org/MachineTool/v101/docs/>
- OPC Foundation (2022c). *OPC UA Security: Built-in by Design – Secure by Default – Continuously Improved*. <https://www.opcfoundation.org>
- OPC Foundation. (2022d). *Unified Architecture - Errata and Amendments*. <https://opcfoundation.org/developer-tools/specifications-unified-architecture/errata-and-amendments/>
- OPC Foundation. (2023). *Security Reconciliation Threats Summary*. <https://reference.opcfoundation.org/v104/Core/docs/Part2/5.1.1/>
- Paul Brooks, Frank Latino, Ken Hopwood & Steven Roby. (2020). *Use Cases for a CIP Companion Specification for OPC UA*. ODVA 2020 Industry Conference & 20th Annual Meeting. https://www.odva.org/wp-content/uploads/2020/05/2020-ODVA-Conference_Companion-Spec-OPC-UA_Brooks-Hopwood-Latino-Roby_Final.pdf
- Torsten Klanitz. (2023). *Produktmanager*. REFA AG. <https://refa.de/berufe/produktmanager>
- Ulrich Kessler. (2023). *Einkauf im Unternehmen: Alles, was du wissen musst*. FranchisePORTAL GmbH. <https://www.unternehmer-ge-sucht.com/ratgeber/einkauf/>
- Umweltbundesamt. (2021). *Energiemanagementsysteme*. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/wirtschaft-umwelt/umwelt-energiemanagement/energiemanagementsysteme>
- VDMA. (2017). *VDMA-Leitfaden Industrie4.0-Kommunikation mit OPC UA*.
- VDMA (Hrsg.). (2021). *Wertschöpfung aus Maschinendaten 4.0 - Die Praxisanleitung für den Mittelstand*. <https://www.vdmashop.de/executive-briefings/informatik-und-tech-nik/697/wertschoepfung-aus-maschinendaten-4.0-die-praxisanleitung-fuer-den-mittelstand>
- VDMA. (2022a). *Manufacturing-X: Auf dem Weg zur digitalen Souveränität*. <https://www.vdma.org/viewer/-/v2article/render/67769836>
- VDMA. (2022b). *OPC UA for Geometric Measurement Systems*. <https://www.vdma.org/catalog-detail/-/catalog/7527>
- Verein Deutscher Ingenieure e.V. (2018). *Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO 50001:2018); Deutsche Fassung EN ISO 50001:2018 (50001)*.

Hinweis

Die Verbreitung, Vervielfältigung und öffentliche Wiedergabe dieser Publikation bedarf der Zustimmung des VDMA und seiner Partner. Auszüge der Publikation können im Rahmen des Zitatrechts (§ 51 Urheberrechtsgesetz) unter Beachtung des Quellenhinweises verwendet werden.

VDMA**Machine Information Interoperability**

Lyoner Str. 18

60528 Frankfurt am Main

E-Mail: mii@vdma.org

Internet: vdma.org/opcu

**Institut für Produktionsmanagement,
Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW),
Technische Universität Darmstadt**

Otto-Berndt-Str. 2

64287 Darmstadt

Internet: www.ptw.tu-darmstadt.de

vdma.org/opcu

Förderhinweis

Das Projekt „Interoperable Interfaces for Intelligent Production – II4IP“ wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert. Durchgeführt wird das Projekt vom Forschungskuratorium Maschinenbau e.V. (FKM) in Kooperation mit dem Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA) in der Zeit von Februar 2020 bis Januar 2024.