

8. Fachtagung Baumaschinentechnik 2020

Automatisierung, Antriebssysteme, Bauverfahren

Netzwerkschnittstellen für mobile Arbeitsmaschinen im Kontext der digitalisierten Baustelle

S. Köhler, V. Waurich, D. Ritz, B. Beck, J. Weber, F. Will



1 Einleitung

Baustellen unterscheiden sich von der industriellen Fertigung durch ihr komplexeres Umfeld, ihrem Unikatcharakter (Losgröße1) und den vielen, stark heterogenen Akteuren sowie die fehlenden Standards und Schnittstellen zum Datenaustausch. Mit dem Einsatz digitaler Technologien beweist die industrielle Fertigung bereits heute erzielbare Mehrwehrt [1]. Eine einfache Übertragung auf Baustellenszenarien ist zwar nicht möglich, Teilaspekte lassen sich jedoch anwenden. Da der Einsatz von Technologien dedizierten Zwecken dient, müssen zunächst die Use-Cases / Anwendungsszenarien klar und definiert sein. Innerhalb dieses Beitrages wird die Visualisierung der Bewegungen eines Mobilbaggers sowie die Anzeige / Übertragung der in ISO 15143-3 [2] festgelegten Daten für Analysezwecke in einem Leitstand fokussiert. Hiermit ist die Ableitung einer passenden Systemarchitektur möglich. Da davon auszugehen ist, dass nicht auf jeder Baustelle zellulares Netz vorhanden ist, schlagen die Autoren die Kommunikation über ein lokales Mesh-W-LAN Netzwerk vor. Die Maschinen auf der Baustelle werden mit Telematikeinheiten ausgestattet, so dass jede Maschine als Informationsquelle im lokalen Netzwerk dient. Über diesen Architekturansatz ist außerdem eine höhere Verfügbarkeit, eine geringere Latenz sowie die Möglichkeit der lokalen Datenhaltung gegenüber dem heute anzutreffenden Signalweg über das Internet erreichbar. Abbildung 1 stellt diesen Architekturansatz grafisch dar. Da auf einer Baustelle nicht nur gemischte Flotten unterschiedlicher Maschinenhersteller, sondern auch je nach Baustellengröße eine Vielzahl einzelner Baufirmen vertreten sind, besteht für eine produktive und effiziente Baustellenüberwachung die Notwendigkeit einer gemeinsamen Datenschnittstelle für eine digitale Lösung.

Wie eine praktikable Umsetzung einer solchen Schnittstelle für mobile Arbeitsmaschinen im Kontext eines digitalen Ökosystems zur Organisation einer Baustelle aussehen kann, wird in diesem Beitrag diskutiert, implementiert und getestet.

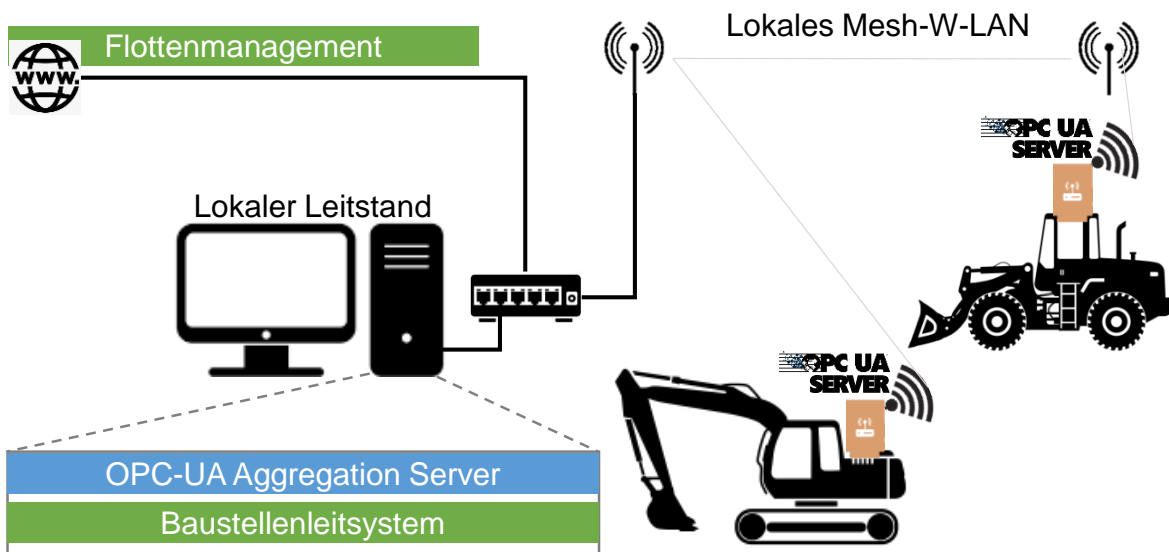


Abbildung 1 Systemarchitekturvorschlag einer digitalen Baustelle

2 Netzwerkschnittstellen im Rahmen von Industrie 4.0

2.1 Übersicht aktueller Kommunikationsmöglichkeiten

Mit Hilfe der Automatisierungspyramide können bereits die Techniken und Hierarchien der Leittechnik sowie der industriellen Fertigung systematisiert dargestellt werden. Im Kontext von Industrie 4.0 wurde die zweidimensionale Darstellung dieser um die Produktlebenszyklus-Achse sowie um einige Ebenen erweitert. Das Referenzarchitekturmodell mit Industrie 4.0 Komponenten „RAMI4.0“ entstand. Detaillierte Beschreibungen dazu finden sich in [3]. In diesem Beitrag soll speziell auf die Bauausführung (Lebenszyklus „Produktion“ in RAMI4.0) sowie die Kommunikation (Layer „Communication“ RAMI4.0) eingegangen werden. Abbildung 2 zeigt deshalb die klassische Automatisierungspyramide als Spezialfall des RAMI4.0 mit Fokus auf die Baustelle / Baumaschinen. Auf der rechten Seite sind die dabei am häufigsten eingesetzten / am bekanntesten Kommunikationstechnologien dargestellt. Grundvoraussetzung für die Kommunikation ist es jedoch, dass es eine Prozessbeschreibung / einen Use-Case gibt, worin Kommunikation notwendig wird.

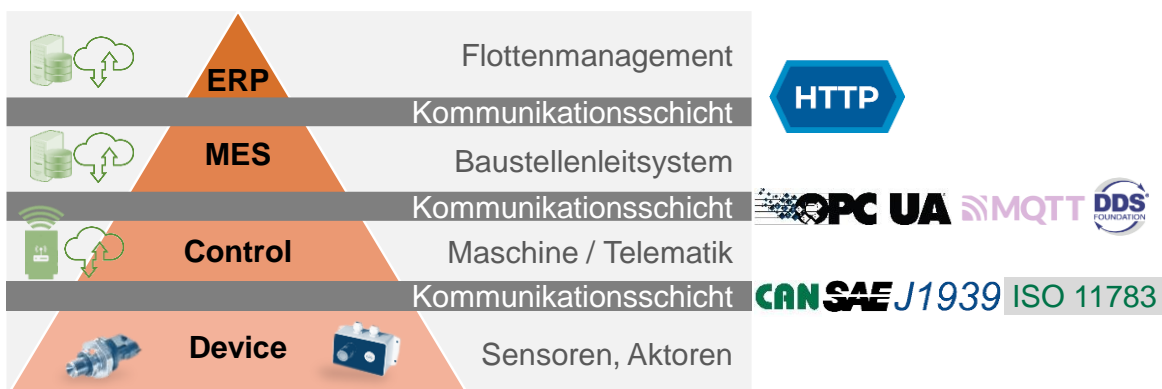


Abbildung 2 Hierarchieebenen der digitalen Baubranche sowie Überblick ausgewählter Kommunikationstechnologien

Der bereits 2010 veröffentlichte internationale Standard ISO 15143 beschreibt ausführlich in drei Teilen die Notwendigkeit für den Datenaustausch von Erdbaumaschinen und Straßenbaumaschinen mit einem Baustellenleitsystem, vom Auftragnehmer zum Baustellenleitsystem und von den Messeinrichtungen zum Baustellenleitsystem [2], [4], [5]. Neben den Anwendungsszenarien und Dienstleistungen, die mit einem solchen System digitalisiert werden, sind Aspekte der Systemarchitektur auf Applikationsebene (OSI Referenzmodell ISO/IEC 7498-1) diskutiert, Prozesse und Methoden zur Erstellung gemeinsamer Wörterbücher (Semantik und Syntax) definiert, Prozess- und Signalflüsse dargestellt und anhand von Beispielen eines Straßenbauprozesses verständlich gemacht. Insbesondere Teil zwei widmet sich dem Kern der Kommunikation – der Interpretierbarkeit der Daten für alle Kommunikationsendpunkte im Netzwerk über ein gemeinsames Wörterbuch. Für IP-basierte Netzwerke diskutierten Profanter et al. [6] die Performance der gängigsten Middleware Lösungen OPC-UA [7], DDS [8], MQTT [9] sowie die Roboterprogrammierbibliothek ROS [10]. In dieser Arbeit stellt sich heraus, dass die open source Implementierungen von OPC UA (open62541 [11]) und DDS (eProsima Fast RTPS [12]) den gleichen Leistungsanforderun-

gen gerecht werden. Während DDS Vorteile bei den Einstellungen der Dienstgüte (u.a. Latenz, Paketverluste, Durchsatz) besitzt, beweist OPC UA seine Stärke in der Beschreibung und Übermittlung des Datenmodells vom Server, was allen Clients ein Durchsuchen des Datenmodells erlaubt. Dies gewährleistet die Interoperabilität bei heterogenen Umgebungen wie Baustellen.

Neben den internationalen Standards und den bereits vielfältigen Publikationen zum Thema Digitalisierung und Automatisierung gibt es auch verstärkt bundes- und europaweite Verbandsaktivitäten. Auf europäischer Ebene ist das CECE - Committee for European Construction Equipment aktiv [13]. In Deutschland haben sich der VDMA – Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer und der VDW – Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken in der Vereinigung namens Umati - universal machine technology interface zusammengesetzt [14], um ein OPC UA Datenmodell für den Maschinenbau zu entwickeln [15]. Im Bereich Baustelle und Baumaschinen hat sich die Vereinigung „machines in construction – MiC4.0“ gegründet, welche in fünf Arbeitskreisen zusammen mit Herstellern und Anwender gemeinsame Lösungen bezüglich Daten, Datenformat und Datenübermittlung erarbeiten [16].

Aufgrund der wissenschaftlichen Erkenntnisse und den Verbandsaktivitäten kommt für diesen Beitrag die Technologie OPC UA zum Einsatz und wird deshalb im Folgenden detaillierter beschrieben.

2.2 OPC Unified Architecture

OPC Unified Architecture (OPC UA) ist ein von der OPC Foundation zertifizierter Standard zum Datenaustausch in der Prozessautomatisierung, der sowohl für vertikale als auch horizontale Integration genutzt werden kann. OPC UA bietet dabei eine Serviceorientierte Architektur (SOA), siehe Abbildung 3, die plattformunabhängig und unter anderem offen für die Einbindung neuer Transportprotokolle, Verschlüsselungsalgorithmen sowie Encoding-Standards ist. Das Herzstück bildet das OPC UA *information modelling framework*. Dieses beschreibt die grundlegenden Regeln, sowie die Basis *building blocks* zur Erstellung von Informationsmodellen für den Datenaustausch. Auch die Zugriffsmechanismen für die Daten der Informationsmodelle sind in OPC UA spezifiziert. Diese umfassen im Wesentlichen das *Browsen* nach Daten, Schreib und Lesevorgänge für aktuelle und historische Daten, Ausführung von Methoden und eventbasierte Benachrichtigungen. Die Kommunikation hierbei kann grundsätzlich via Client-Server oder Publish/Subscribe erfolgen. Beim Client-Server Prinzip erhält der OPC UA Server Anfragen (*request*), verarbeitet diese und schickt die gewünschten Resultate (*response*) an die Clients zurück. Beim Publish/Subscribe Prinzip können Teilnehmer zum einen Daten zu bestimmten Themen (*topics*) als *Publisher* veröffentlichen, zum anderen können sie als *Subscriber* diese abonnieren und somit automatisch beziehen [7].

Das mapping kann auf zwei verschiedene Wege vorgenommen werden: XML Web Services und UA Native. Die erste Variante ist ein Simple Object Access Protocol (SOAP) und umfasst diverse WS-Sicherheitsspezifikationen. UA Native dagegen ist ein binary protocol, welches aber ebenso auf Methoden angelehnt an die WS-Sicherheitsspezifikationen zurückgreifen kann [17].

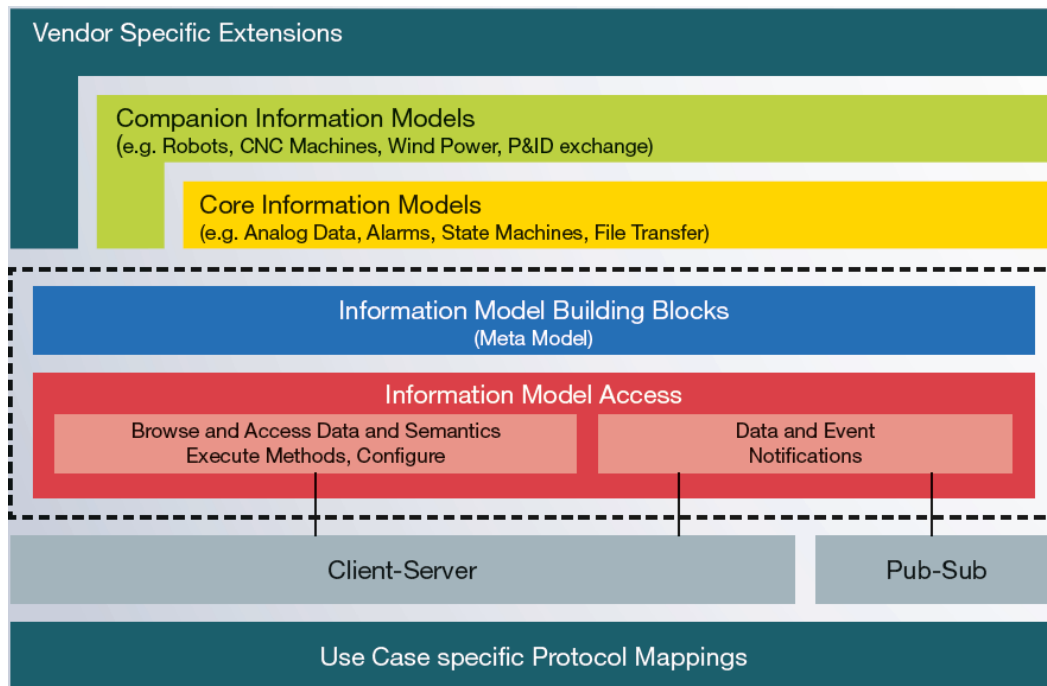


Abbildung 3 Multi-layered Architecture of OPC UA [7]

Das Meta-Modell, sowie ein darüber hinaus gehendes Basis-Informationsmodell sind wie erwähnt im Rahmen des *information modelling framework*, siehe *OPC-UA 10000-3: Address Space Model* und *OPC-UA 10000-5: Information Model*, bereits spezifiziert. Um Interoperabilität zu gewährleisten bzw. zu ermöglichen, ist es sinnvoll Informationsmodelle darüber hinaus zu standardisieren. Dies kann Branchen- bzw. anwendungsspezifisch durch sogenannte Companion Specifications (CS) geschehen. Solche CS umfassen Informationsmodelle für spezifische Anwendungen, wie beispielsweise Robotersysteme oder Druckluftanlagen. Die OPC Foundation hat in Zusammenarbeit mit weiteren Organisationen in unterschiedlichsten Bereichen bereits einige CS erarbeitet, siehe [18]. Ein wesentlicher Treiber hierbei ist der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA). Aktuell sind im VDMA 19 Arbeitskreise von der Antriebstechnik über Werkzeugmaschinen bis hin zu Textilmaschinen organisiert, aus denen bisher 25 Specifications hervorgegangen sind [19]. Neben einer schriftlichen Erläuterung der Informationsmodelle werden i.d.R. zusätzlich sogenannte NodeSets veröffentlicht. Diese enthalten im XML-Format eine Beschreibung der im Modell verwendeten Typen von Objekten, Variablen, Methoden, Events und Referenzen. Damit für einzelne Branchen keine Insellösungen entstehen, bauen Companion Specifications teilweise aufeinander auf. Neben der OPC UA Basisspezifikation dient v.a. die OPC UA for Machinery als Grundlage für viele Companion Specifications. Gemäß ihrem Anspruch ist die OPC UA for Machinery eine Basisspezifikation für den gesamten Maschinen- und Anlagenbau. Sie enthält sogenannte Building Blocks, die als modulare Bausteine allgemein Themen, wie z.B. Identifikation einer Maschine beschreiben. Branchenspezifische CS können diese Building Blocks erweitern.

Anwendungsbeispiel

Um das *information modelling framework* besser zu verstehen, soll im Folgenden ein beispielhaftes Informationsmodell für Bagger skizziert werden, siehe hierzu Abbildung 4. Die kleinste Einheit des Meta-Modells bildet ein sogenannter *Node*. Grundsätzlich hat jeder *Node* bestimmte Attribute, die optional (*optional*) oder verbindlich (*mandatory*) vorhanden sein müssen. Jeder *Node* muss z.B. zwingend über eine eindeutige *NodeId*, sowie über einen *BrowseName* verfügen. Unterschiedliche *NodeClasses*, wie *Objects*, *Variables* und *Methods* erweitern die *BaseNodeClass*. Ein *Object* dient der Repräsentation von Entitäten. Betrachtet man einen Bagger, so besteht dieser beispielsweise aus dem *Object* Unterwagen. Die Beziehungen zwischen den Knoten werden dabei durch *References* ausgedrückt. Im Rahmen des Beispiels bedeutet dies, dass das *Object* Bagger über einen Unterwagen verfügt, ausgedrückt über eine *HasComponent* Referenz. Objekten zugehörige Daten können mittels *Variables* beschrieben werden. So ist dem Unterwagen hier exemplarisch, assoziiert durch die Referenz *HasProperty*, seine Masse zugeordnet. Ein wesentlicher Aspekt beim *information modelling framework* ist die beliebige Erweiterbarkeit des Basis-Informationsmodelles durch das Anlegen weiterer Klassen, sog. *Types*, im Rahmen von beispielsweise Companion Specifications, von denen konkrete Instanzen erben können. So erbt in diesem Beispiel die Instanz Bagger XYZ von den jeweiligen abstrakten *Types* mittels *HasTypeDefinition* Referenzen.

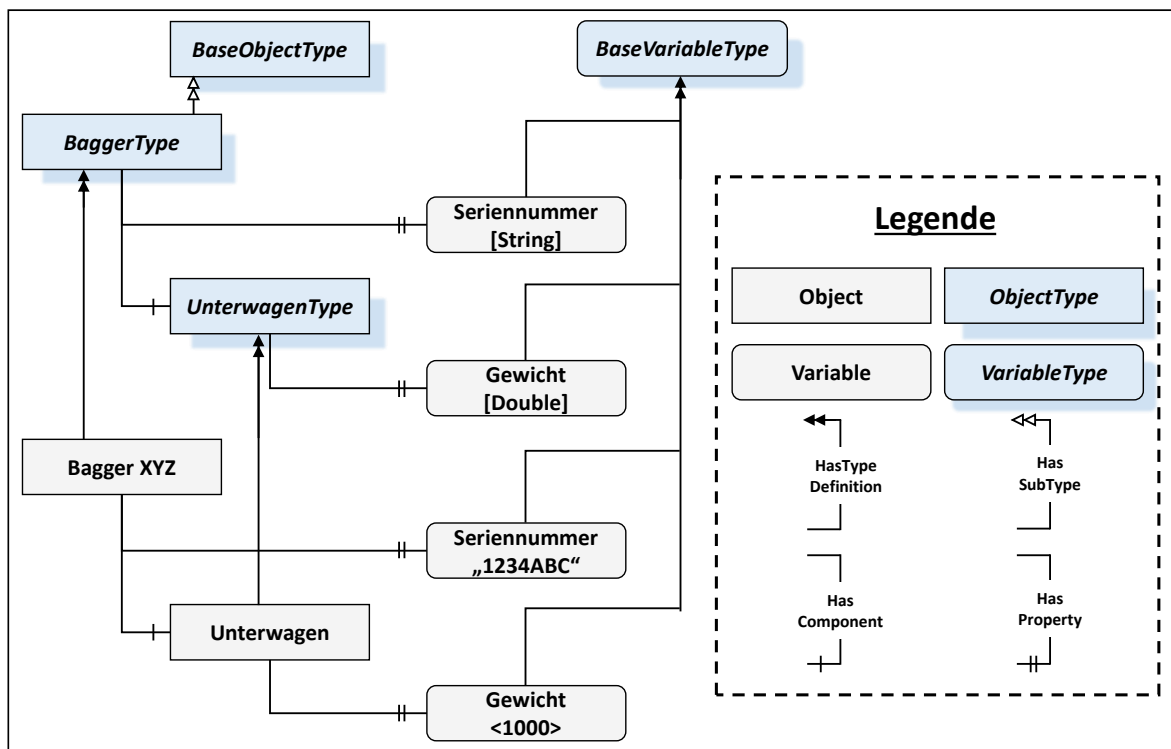


Abbildung 4 Beispielhaftes Informationsmodell Bagger

3 OPC-UA Architektur zur Vernetzung von Baumaschinen

3.1 OPC-UA Aggregating Server –Architektur für die Flottenüberwachung auf Baustellen

Aufbauend auf dem allgemeinen OPC UA Client-Server Pattern, sind je nach Anwendungsszenario verschiedene Architekturpatterns sinnvoll. Ein wichtiger Anwendungsfall für die Vernetzung von Maschinen auf einer Baustelle ist die Überwachung der Betriebs- und Maschinendaten. In der industriellen Fertigung bezeichnet man diese Ebene als Fertigungsmanagementsystem (Manufacturing Execution System, MES). Kennzeichnend hierbei ist die Bündelung aller Teilnehmerdaten in einem zentralen Knoten. Als Architektur-Pattern bietet sich hier der *Aggregating Server* an, welches in Abbildung 5 dargestellt ist [20]–[22]. Jede Maschine implementiert einen OPC UA Server mit einem maschinenspezifischen Adressraum. Der *Aggregating Server* verfügt über einen eingebetteten Client, welcher auf die maschinenspezifischen Server zugreift. Es erfolgt ein Mapping der Maschinendaten auf das Informationsmodell des *Aggregating Servers*. Dabei ist wichtig, dass jede Maschine innerhalb aller Teilnehmer eindeutig identifizierbar ist. In *OPC 10000-100: Devices* sowie in *VDMA 40001-1 (OPC UA for Machinery)* werden die Daten zur eindeutigen Identifikation von *Devices* und *Machines* spezifiziert [15], [23]

Neben den relevanten Informationen der einzelnen Teilnehmer kann der *Aggregating Server* auch statistische Daten über den gesamten Maschinenverbund weitergeben. Um den langfristigen Zugriff auf historische Daten zu gewährleisten ist die Anbindung einer Datenbank sinnvoll. Mit dem *Aggregating Server* können verschiedene anwendungsspezifische OPC UA Clients interagieren.

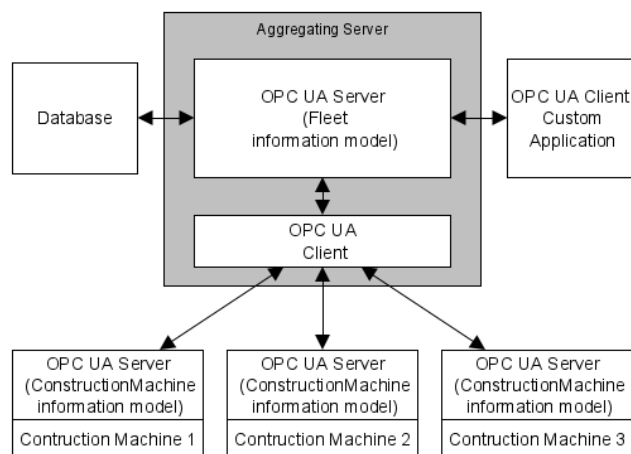


Abbildung 5 Aggregation Server Architektur zur Überwachung mehrerer Baumaschinen mit verbindungsorientiertem OPC UA

3.2 Telematikdaten aus der ISO15143-3

Eine verbreitete Schnittstelle für Baumaschinendaten sind Telematikdaten in semi-strukturierten Formaten (XML bzw. JSON) entsprechend der ISO 15143-3 [2]. Der Datensatz enthält allgemeine Maschinendaten für das Flottenmanagement zur Überwachung von Maschinenstatus, Position und Betriebsfähigkeit. Ein erster Schritt bei der Umsetzung einer

OPC UA - Schnittstelle ist die Überführung der Daten aus der ISO 15143-3 in ein OPC UA Datenmodell. Auf ein exaktes Mapping des Datenmodells wird verzichtet um die semantischen Vorteile von OPC UA auszunutzen. Die bereits veröffentlichten Companion Specifications „Device Integration“ und „Machinery“ bilden bereits einen Teil der ISO 15143-3 Daten ab. Der im Folgenden vorgestellte „ConstructionEquipment“-Adressraum verwendet die genannten Nodesets sowie den Standard OPC UA Adressraum. In Abbildung 6 sind die verwendeten *ObjectTypes* zur Realisierung des ISO 15143-3 Datensatzes dargestellt.

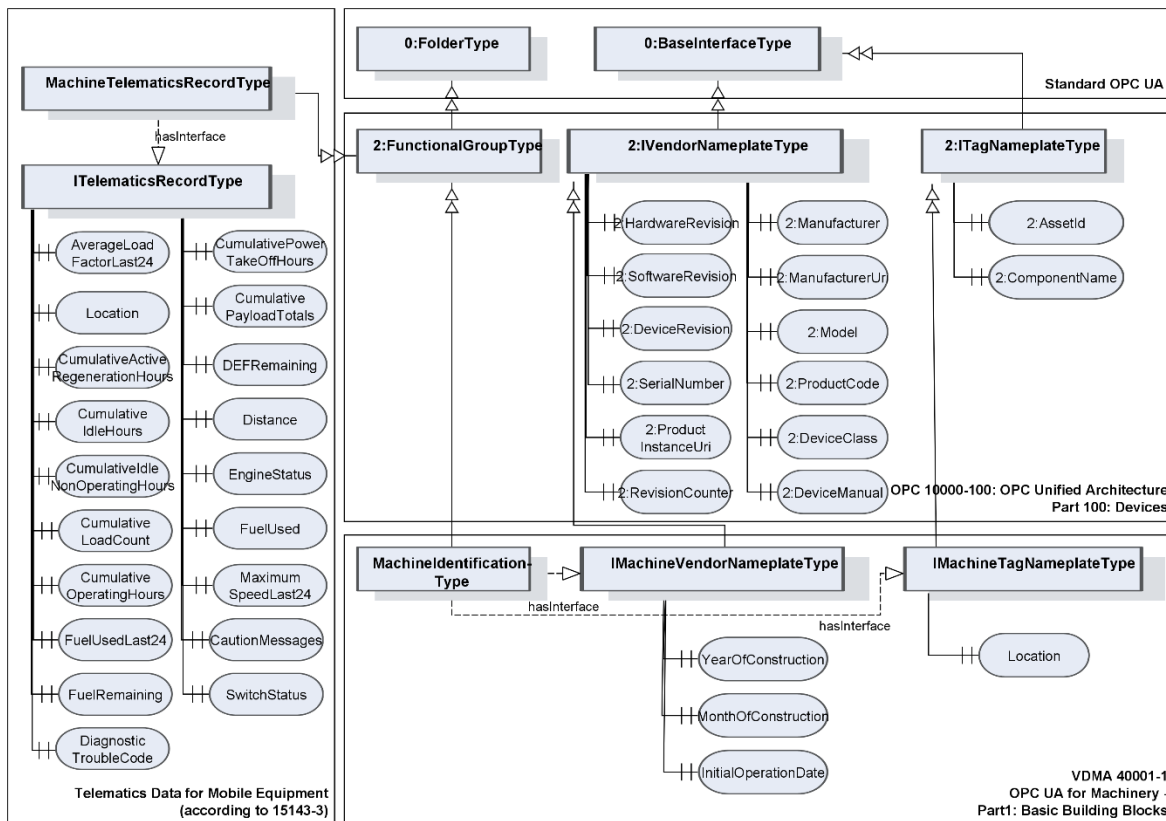


Abbildung 6: Typenraum der notwendigen *ObjectTypes* zur Darstellung der Telematikdaten aus der ISO 15143-3. Namespace 0 steht für <http://opcfoundation.org/UA> und Namespace 2 für <http://opcfoundation.org/UA/DI>

Der *ObjectType* *MachineIdentificationType* umfasst bereits die grundlegenden Daten zur Identifikation einer Maschine anhand von herstellereigenen Daten. Dieser *ObjectType* ist ein Subtyp des *2:FunctionalGroupType*. *FunctionalGroups* dienen der Strukturierung von *Nodes* wie *Properties*, *Parameters* und *Methods*, welche zu einer bestimmten Anwendung gehören (hier die eindeutige Identifikation der Maschine). Spezifiziert werden die Daten durch sogenannte *Interfaces*, welche im Gegensatz zur Typenvererbung mittels der *HasSubtype*-Referenz auch von Instanzen über *HasInterface* referenziert werden können. Die Interfaces *IMachineVendorNameplateType* und *IMachineTagNameplateType* aus der *VDMA 40001-1 OPC UA for Machinery* sind Subtypen der Interfaces *IVendorNameplateType* und *ITagNameplateType* aus *OPC-UA 10000-100: Devices*.

Die Instanz mit dem Namen *2:Identification* beinhaltet unter anderem Variablen wie *2:Manufacturer*, *2:SerialNumber*, *2:HardwareRevision*, *2:SoftwareRevision* und *Location*. Um die fehlenden Daten der ISO 15143-3 zu integrieren wird die neue *FunctionalGroup* vom Typ

MachineTelematicsRecordType spezifiziert. Diese implementiert das *Interface* ITelematicsRecordType welches die zusätzlichen Daten als *Properties* besitzt.

3.3 Kinematikmonitoring

Neben den grundlegenden Anwendungen für das Flottenmanagement ist ein maschinen-seitiger OPC UA – Server als universelle Schnittstelle für Anwendungen der Maschinensteuerung, für Assistenzsysteme und verschiedenste Maschinenservices denkbar. Exemplarisch soll für einen Bagger der Adressraum so erweitert werden, dass ein Monitoring der Arbeitskinematik ähnlich wie in einem System zur Maschinensteuerung möglich ist. Verfügt der Bagger über Sensorik zur Erfassung der Gelenkwinkel, so kann die Maschine visualisiert und die Pose des Werkzeugs bestimmt werden. Für die Umsetzung der notwendigen Daten sollen bereits existierende OPC UA Companion Specifications genutzt werden. Das *Nodeset* aus der OPC UA Arbeitsgruppe *Robotics* bietet bereits viele Objekttypen zur Beschreibung von Mehrachsmanipulatorsystemen.

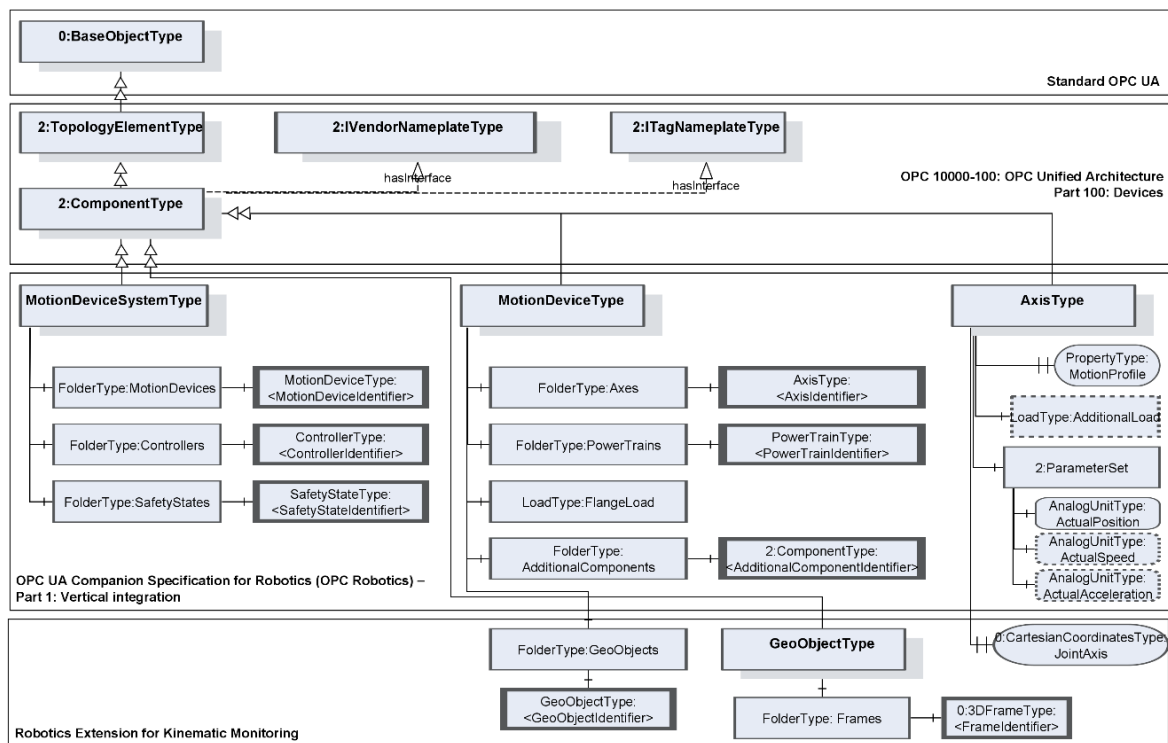


Abbildung 7: Typenraum zur Beschreibung der Arbeitskinematik einer Baumaschine unter Verwendung der OPC UA Robotics Companion Specification und einer Erweiterung zur Repräsentation der Starrkörpergeometrie

Abbildung 7 stellt den umgesetzten Typenraum dar. Die OPC UA Robotics Specification definiert ein Robotik-System über ein MotionDeviceSystemType-Objekt, welches Informationen zu unabhängigen Bewegungssystemen (FolderType:MotionDevices), Informationen zum Zustand der Sicherheitsfunktionen (FolderType:SaftyStates) sowie zu den ECUs im System (FolderType:Controllers). Ein MotionDevice-Objekt umfasst alle Angaben zu den

einzelnen Bewegungsachsen (FolderType:Axes), zu den Antriebssystemen (FolderType:PowerTrains), bestehend aus Motor- und Getriebeobjekten, zu den angebrachten Lasten (LoadType:FlangeLoad) sowie zu weiteren, unspezifischen Systemkomponenten (FolderType:AdditionalComponents). All diese Objekte sind Subtypen des ComponentTypes und verfügen somit über die Interfaces zur Identifikation.

Mit diesem Informationsmodell kann lediglich die Art der (einwertigen) Gelenke innerhalb eines Manipulators spezifiziert werden. Es fehlt eine genaue Beschreibung der Starrkörper und Gelenkachsenrichtung. Um eine vollständige Berechnung der Maschinenkinematik zu realisieren wurde dem AxisType ein zusätzlicher Parameter CartesianCoordinateType:JointAxis hinzugefügt, welcher über einen 3D-Vektor die Richtung des Gelenkfreiheitsgrades angibt. Zur Beschreibung der Geometrie des Manipulators wird weiterhin der FolderType:GeoObjects dem MotionDeviceType hinzugefügt. Ein GeoObject beschreibt im jeweiligen Körperkoordinatensystem verschiedene körperfeste Punkte, beispielsweise die Gelenklagerpunkte, über 3DFrameType-Objekte. Durch Relationen zwischen den GeoObjects-Instanzen mit den Instanzen der Axes, kann eine kinematische Kette aufgebaut werden und eine Vorwärtsrechnung erfolgen. Dazu wird ein neuer ReferenceType vom Typ isParent etabliert, welcher Instanzen eines 3DFrameType mit einem AxisType und umgekehrt verbinden kann. Abbildung 8 zeigt die Nodes für ein MotionDeviceSystem am Beispiel eines Baggers.

Aufbauend auf diesen grundlegenden Informationen zur Berechnung der Vorwärtskinematik sind weitere Informationen für die Anwendung in einer Maschinensteuerung, in Automatisierungsfunktionen oder Maschinenservices nützlich. In Tabelle 1 ist eine erweiterte Definition eines GeoObjectType beschrieben. Neben der Liste Frames können kinetische Parameter zur Definition von Masse, Schwerpunktskoordinaten und Trägheitstensor in KineticParameterSet hinterlegt werden. Zusätzlich kann auch der Pfad zu einem Hüllkörpermodell für Visualisierungszwecke angegeben werden. Die Typen KineticParameterSetType und FileType werden im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter spezifiziert.

Browse Name		GeoObjectType			
References	Node Class	Browse Name	Data Type	TypeDefinition	Modelling Rule
<i>HasComponent</i>	<i>Object</i>	Frames	0:3DFrame	FolderType	<i>Mandatory</i>
<i>HasComponent</i>	<i>Object</i>	KineticParameterSet	KineticParameterSetType	LoadType	<i>Optional</i>
<i>HasProperty</i>	<i>Variable</i>	CAD	FileType	PropertyType	<i>Optional</i>

Tabelle 1 Definition eines GeoObjectType (Subtype von 2:ComponentType) Instanzen aus den Supertypen werden hier nicht aufgeführt.

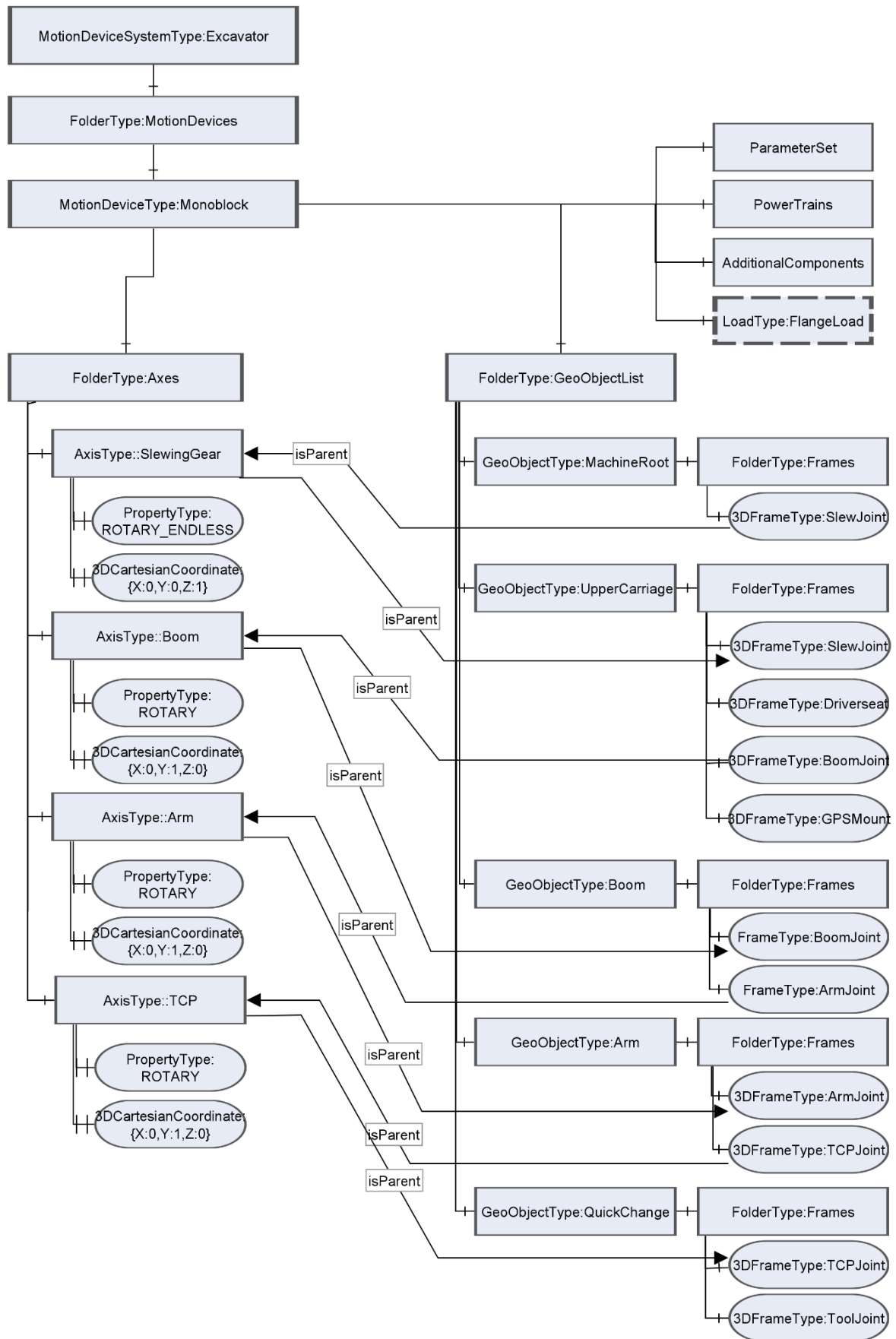


Abbildung 8 Instanz eines MotionDeviceSystemType für das Kinematikmonitoring am Beispiel eines Baggers mit Monoblockausleger und Schnellwechsler

4 Testimplementierung an einem Mobilbagger

4.1 OPC-UA Implementierung

Für die Umsetzung des OPC UA Servers und des Clients wurde auf die open source Software „open62541“ zurückgegriffen [11]. Es handelt sich dabei um eine C99 basierte Implementierung von OPC UA. Open62541 kann u.a. für Windows, Linux, VxWorks und Android kompiliert werden. Es zeichnet sich durch eine umfangreiche Umsetzung des Standards IEC 62541 sowie einen geringen Speicherbedarf aus. Die in Kapitel 3 vorgestellten Datenmodelle wurden entsprechend des OPC UA Nodeset XML Schemas notiert. Open62541 bringt einen *nodeset-compiler* mit, der aus den *NodeSet2.xml-Dateien den Quellcode zur Implementierung eines open62541 Servers erstellt. Aufbauend auf den existierenden NodeSets *DI*, *Robotics* und *Machinery* wurden die beiden zusätzlichen NodeSets *Equipment* für die Telematikdaten und *RoboticsExtension* für die Erweiterung der Robotics-Spezifikation erstellt, wie in Abbildung 9 dargestellt.

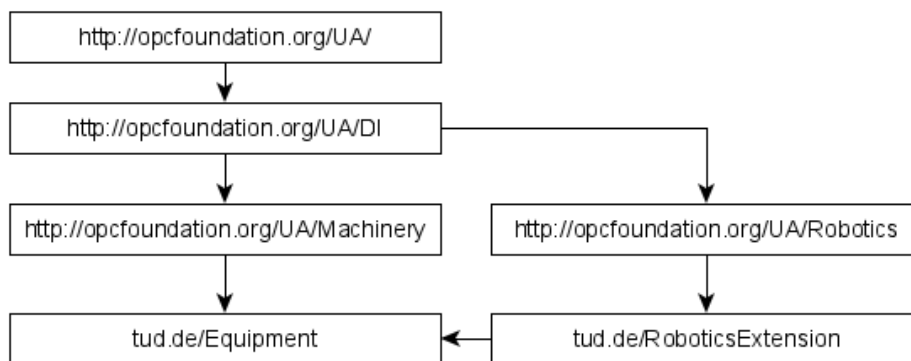


Abbildung 9 Abhängigkeit der genutzten Nodesets

4.2 Demonstratorszenario

Die prototypische Implementierung des OPC UA Servers erfolgt auf einem CASE WX185 Mobilbagger. Dieser ist ausgerüstet mit *inertia measurement units (IMU)* zur Erfassung der der Neigungswinkel, welche zur Berechnung der Gelenkwinkel genutzt werden.

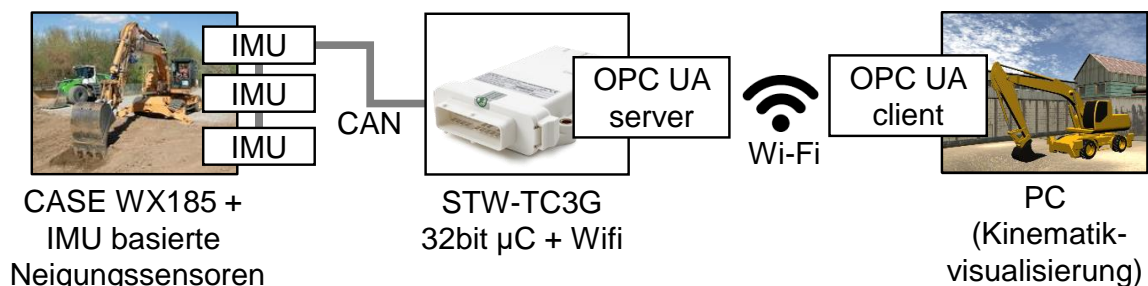


Abbildung 10 Demonstratoraufbau für einen OPC UA – Server auf einem Mobilbagger

Die IMUs senden dabei CAN-Nachrichten, welche jeweils die räumliche Orientierung eines Elements der kinematischen Kette beschreiben. Auf einem STW-TC3G Telematikmodul

läuft die Verrechnung der Orientierungen zu den Gelenkwinkeln ab. Gleichzeitig wird auf dieser Hardware der OPC UA – Server implementiert um die Maschinendaten bereitzustellen. Über ein WiFi-Mesh Netzwerk kann sich der OPC UA – Client mit dem Server verbinden. Im umgesetzten Demonstratorszenario werden die Kinematikdaten genutzt um eine Visualisierung der Maschinenbewegung umzusetzen. Abbildung 10 zeigt ein Übersichtsbild des Demonstratorszenarios und Abbildung 11 die Demonstratormaschine sowie die Visualisierung der Kinematikdaten.



Abbildung 11 Demonstratorbagger und Visualisierung der Kinematikdaten des OPC UA – Servers

5 Zusammenfassung und Ausblick

OPC UA ist ein Kommunikationsstandard zur Implementierung von Industrie 4.0 Anwendungen für Produktionssysteme. Im Kontext der Baumaschinenvernetzung kann OPC UA verwendet werden um Stammdaten und Betriebsdaten von Baumaschinen über eine ethernetbasierte Schnittstelle bereitzustellen. Der Vorteil gegenüber anderen Standards ist das umfangreiche Datenmodell, welches für den konkreten Maschinentyp spezifizierbar ist. Über sogenannte *companion specifications* ist es außerdem möglich branchenspezifische Datenmodelle zu definieren. Am Beispiel der Telematikdaten aus der ISO 15143-3 sowie der Beschreibung der Kinematischen Kette einer Baumaschine wurde ein entsprechender Baumaschinenspezifischer Adressraum entwickelt. Zur Vernetzung mehrerer Baumaschinen in einem Managementsystem wird die Architektur des Aggregating Servers vorgeschlagen. Am Beispiel eines Mobilbaggers erfolgte die Entwicklung und Umsetzung eines Adressraums in einem W-LAN-Netzwerk zur Visualisierung der Maschinenbewegung. Das OPC UA Datenmodell ermöglicht eine detaillierte und standardisierte Schnittstellenbeschreibung von Baumaschinen. Zukünftig wäre es denkbar, dass eine Baumaschinenspezifische OPC UA companion specification standardisiert wird. Mit Hilfe einer offenen Schnittstelle direkt auf der Maschine ist es möglich, ohne herstellerspezifische Lösungen, auch bei gemischten Flotten, Anwendungen wie Flottenmanagementsystemen, Assistenzsystemen, Kooperativen Maschinen, Maschinensteuerungen und HMIs plattformunabhängig zu implementieren. Die Umsetzbarkeit beschränkt sich derzeit auf nicht-echtzeitfähige Anwendungen mit überschaubaren Teilnehmerzahlen. Zukünftig können unter Verwendung des Publish/Subscribe Patterns sowie des echtzeitfähigen Ethernet-Standards TSN auch echtzeitfähige Anwendungen, mit großen Teilnehmerzahlen, in den Fokus rücken.

6 Literaturverzeichnis

- [1] BMBF und BMWi, „Plattform Industrie 4.0“. <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/DE/Home/home.html> (zugegriffen Sep. 21, 2020).
- [2] ISO, „ISO 15143-3 - Earth-moving machinery and mobile road construction machinery — Worksite data exchange Part 3: Telematics Data“. 2010.
- [3] R. Heidel, M. Hankel, M. Hoffmeister, und U. Döbrich, *Basiswissen RAMI4.0*, 1. Aufl. VDE Verlag.
- [4] ISO, „ISO 15143-1 - Earth-moving machinery and mobile road construction machinery — Worksite data exchange Part 1: System architecture“. 2010.
- [5] ISO, „ISO 15143-2 - Earth-moving machinery and mobile road construction machinery — Worksite data exchange Part 2: Data dictionary“. 2010.
- [6] S. Profanter, A. Tekat, K. Dorofeev, M. Rickert, und A. Knoll, „OPC UA versus ROS, DDS, and MQTT: Performance Evaluation of Industry 4.0 Protocols“, in *2019 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, Melbourne, Australia, Feb. 2019, S. 955–962, doi: 10.1109/ICIT.2019.8755050.
- [7] OPC, „Unified Architecture“, *OPC Foundation*. <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/> (zugegriffen Sep. 21, 2020).
- [8] „DDS Portal – Data Distribution Services“. <https://www.dds-foundation.org/> (zugegriffen Sep. 21, 2020).
- [9] „MQTT - The Standard for IoT Messaging“. <https://mqtt.org/> (zugegriffen Sep. 21, 2020).
- [10] „ROS.org | Powering the world’s robots“. <https://www.ros.org/> (zugegriffen Sep. 21, 2020).
- [11] „open62541: an open source implementation of OPC UA“. <https://open62541.org/> (zugegriffen Sep. 21, 2020).
- [12] „DDS“. <https://www.eprosima.com/index.php/resources-all/dds-all> (zugegriffen Sep. 21, 2020).
- [13] R. Guziak, „CECE - Committee for European Construction Equipment“, 2020. <https://www.cece.eu/home> (zugegriffen Sep. 21, 2020).
- [14] A. Faath und A. Broos, „umati – on its way to becoming the global language of production“. VDMA, VDW, Apr. 2020, Zugegriffen: Sep. 21, 2020. [Online]. Verfügbar unter: https://en.industryarena.com/files/news/pressreleases/14005/pm_umati_eng_2020-04-02.pdf.
- [15] VDMA und OPC, „VDMA 40001-1 - OPC UA for Machinery - Part 1: Basic Building Blocks“. Apr. 2020, [Online]. Verfügbar unter: <https://opcua.vdma.org/companion-specifications#catalogs>.
- [16] D. Soßdorf, „Machines in Construction 4.0 - MiC4.0“, 2020. <https://mic40.vdma.org/> (zugegriffen Sep. 21, 2020).
- [17] T. Hannelius, M. Salmenpera, und S. Kuikka, „Roadmap to adopting OPC UA“, in *2008 6th IEEE International Conference on Industrial Informatics*, Daejeon, South Korea, Juli 2008, S. 756–761, doi: 10.1109/INDIN.2008.4618203.
- [18] OPC, „OPC UA Information Models“, *OPC Foundation*. <https://opcfoundation.org/members/> (zugegriffen Sep. 21, 2020).
- [19] VDMA, „Companion Specifications - VDMA“. <https://opcua.vdma.org/companion-specifications#catalogs> (zugegriffen Sep. 21, 2020).
- [20] BMWi, Hrsg., „Diskussionspapier - Sichere unternehmensübergreifende Kommunikation mit OPC UA“. März 2019.
- [21] D. Grosman, M. Bregulla, S. Banerjee, D. Schulz, und R. Braun, „OPC UA server aggregation - The foundation for an internet of portals“, in *Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA)*, Barcelona, Spain, Sep. 2014, S. 1–6, doi: 10.1109/ETFA.2014.7005354.
- [22] W. Mahnke, S.-H. Leitner, und M. Damm, *OPC Unified Architecture*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- [23] OPC, „OPC 10000-100 - Unified Architecture Part 100: Devices“. Apr. 18, 2019.