

Dipl.-Ing. Simon Köhler
Professur für Fluid-Mechatronische Systemtechnik | TU Dresden

Das Verbundforschungsprojekt „Bauen 4.0“

Überblick, Architekturaspekte für die digitale Baustelle und Diskussion ausgewählter Maschinen-Services

Mobile Machines online // 29. April 2021

Agenda

1. Überblick Bauen 4.0

2. Kommunikationsarchitekturen

3. Integration digitaler Abbilder

4. Ausblick

1. Überblick Bauen 4.0

2. Kommunikationsarchitekturen für die digitale Baustelle

3. Integration digitaler Maschinen- und Systemabbilder

4. Ausblick

1. Überblick Bauen 4.0

Projektpartner und organisatorischer Rahmen

1. Überblick Bauen 4.0

2. Kommunikationsarchitekturen

3. Integration digitaler Abbilder

4. Ausblick

Zahlen Daten Fakten:

- Förderung BMBF – Projektträger Karlsruhe – Förderprogramm INKOWE
- Laufzeit 01.07.2019 – 31.07.2022
- 20 Industriepartner, 2 Universitäten
- Begleitet durch diverse Verbände
- Gesamtkosten 9 Mio. € / 4,8 Mio. € Förderung



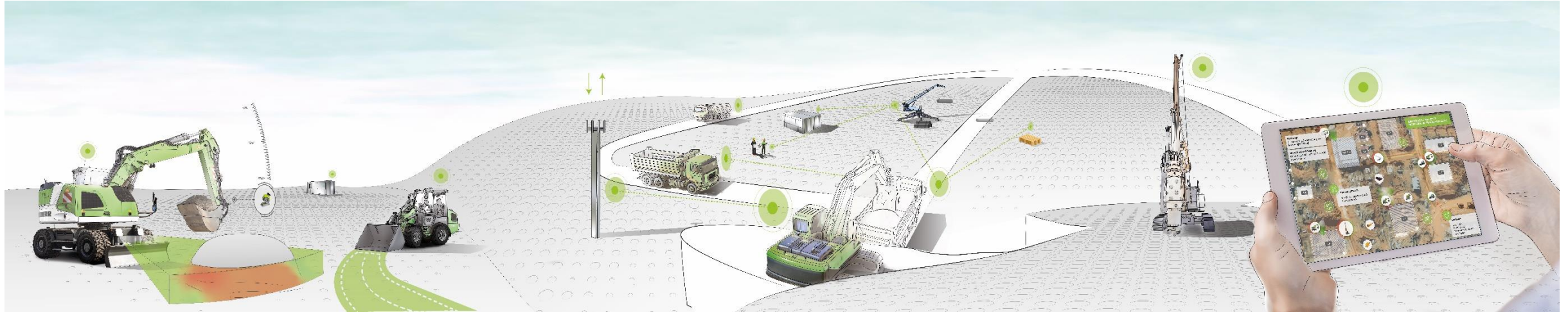
Die Themenschwerpunkte

1. Überblick Bauen 4.0

2. Kommunikationsarchitekturen

3. Integration digitaler Abbilder

4. Ausblick



Automatisierbare, vernetzte Arbeitsmaschinen

- **Bedienerassistenz**
- **Automatisierung**
- **Fernhantierung**
- **Vertikale Datenintegration**



5G Maschinen- und Baustellenvernetzung

- **Cloudlösungen**
- **Verteilte Intelligenz**
- **Sicherer (reliable&secure) Datenaustausch**



Prozesse & Lösungen für die digitale Baustelle

- **Tracking & Tracing**
- **Simulation von Bauprozessen**
- **BIM zu BIMsite**
- **Fahrerleitsystem 4.0**

Nachhaltige Demonstrations- & Entwicklungsplattform für Industrie 4.0 Lösungen im Baustellenbetrieb: Demonstrationsszenario 2022

Demoapplikationen



Automatisierbare, vernetzte Arbeitsmaschinen



5G Maschinen- und Baustellenvernetzung



Prozesse & Lösungen für die digitale Baustelle

Vertical Integration via OPC UA

- Automat. Erdbewegung
- Automat. Werkzeugwechsel
- Detektion "as built" Zustand



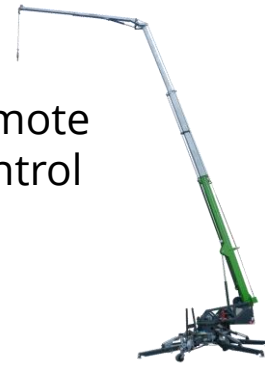
- Automat. Fahren
- Umfelderkennung



- Automat. Arbeiten



- Remote Control



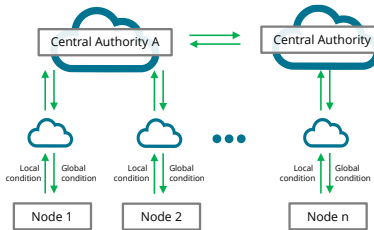
- Multi-Connectivity modul: WiFi, 5G, 4G, BLE...



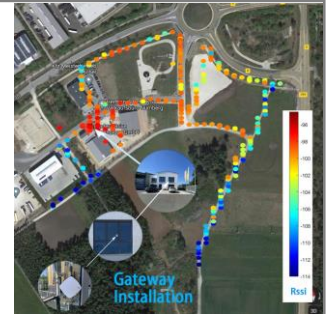
- Construction Site Networks: WiFi, 5G Campus



- Verteilte Cloud Services



- Tracking & Tracing von Materialien via LPWAN



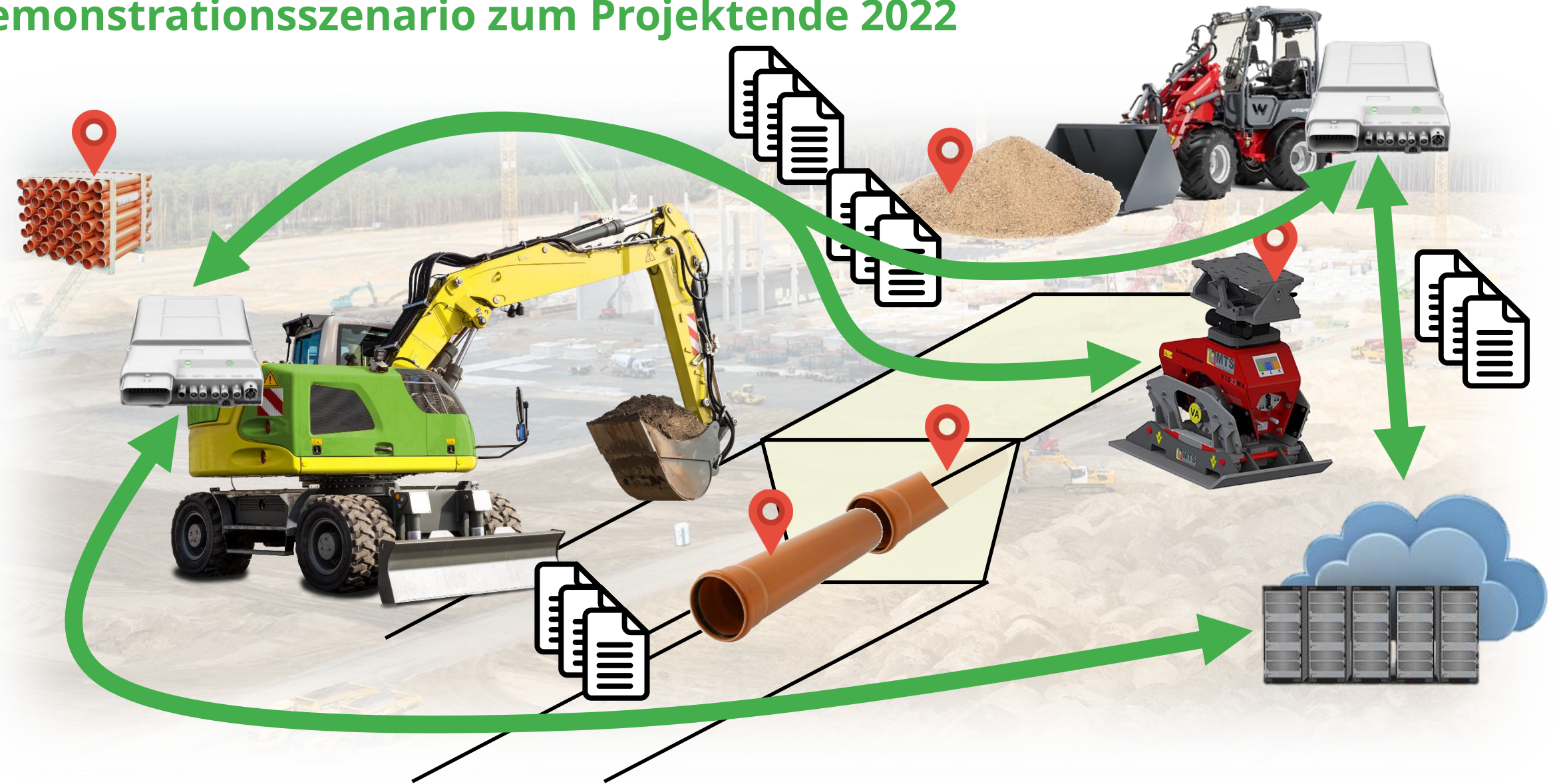
- Prozessoptimierungen und Baufortschrittsvorhersage anhand Simulation und Machinendaten (z.B. ISO 15143-3 Daten via OPC UA)



- AR-gestützte Fahrerassistenz: Visualisierung via HoloLens



Demonstrationsszenario zum Projektende 2022



2. Kommunikationsarchitekturen

Worksite data exchange nach ISO 15143-1

1. Überblick Bauen 4.0

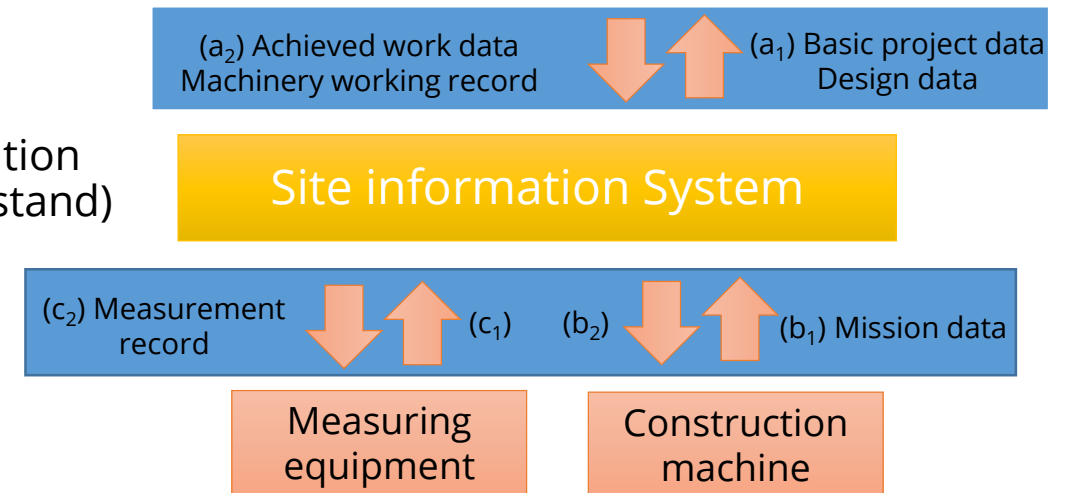
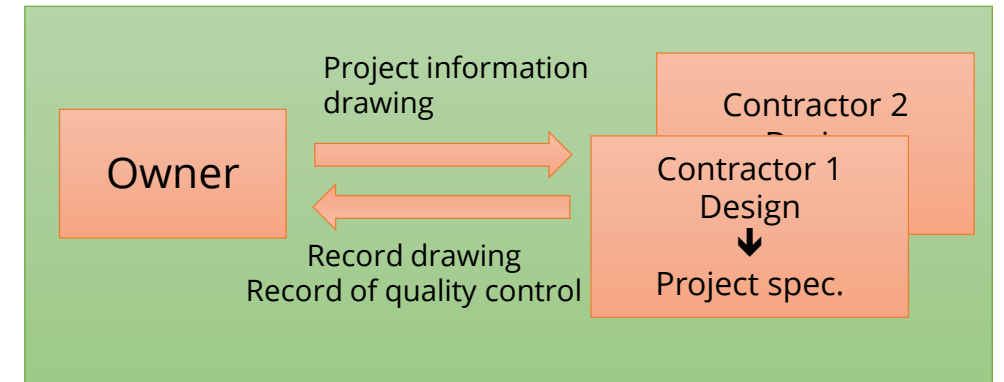
2. Kommunikationsarchitekturen

3. Integration digitaler Abbilder

4. Ausblick

Ziele der Norm

1. Datenaustausch zwischen Bauunternehmen und site information system (MES) während der Bauausführung
 - a. Informationsfluss von Bauunternehmen zum site information system (allg. Projektdaten, Designdaten, usw.)
 - b. Informationsfluss von site information system zum Bauunternehmen (Maschinendaten, Baufortschritt, ...)
2. Datenaustausch zwischen site information system und Arbeitsmaschinen:
 - a. Informationsfluss von site information system zu mobile Arbeitsmaschinen, (Auftragsdaten)
 - b. Informationsfluss von den Arbeitsmaschinen zum site information system (Maschinendaten zu Bauprozessen oder Maschinenzustand)
3. Datenaustausch zwischen site information system und externer Vermessungstechnik:
 - a. Informationsfluss von site information system zu externer Vermessungstechnik (trigger data)
 - b. Informationsfluss von externer Vermessungstechnik zum site information system (Vermessungsdaten)



Quelle: ISO 15143-1

Worksite data exchange nach ISO 15143-1

1. Überblick Bauen 4.0

2. Kommunikationsarchitekturen

3. Integration digitaler Abbilder

4. Ausblick

Site Information System

Supervision
Inspection

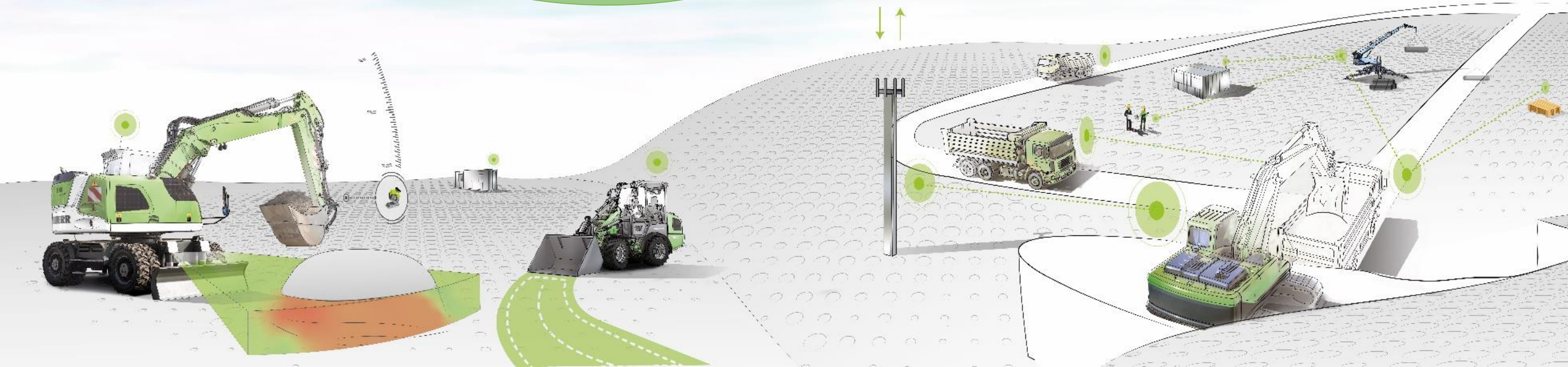
Equipment and
supply

Estimation,
contract, decision

Construction
Management

Machine
construction

Safety of construction,
environmental
preservation



Anforderungen an den Datenaustausch – Bauen 4.0

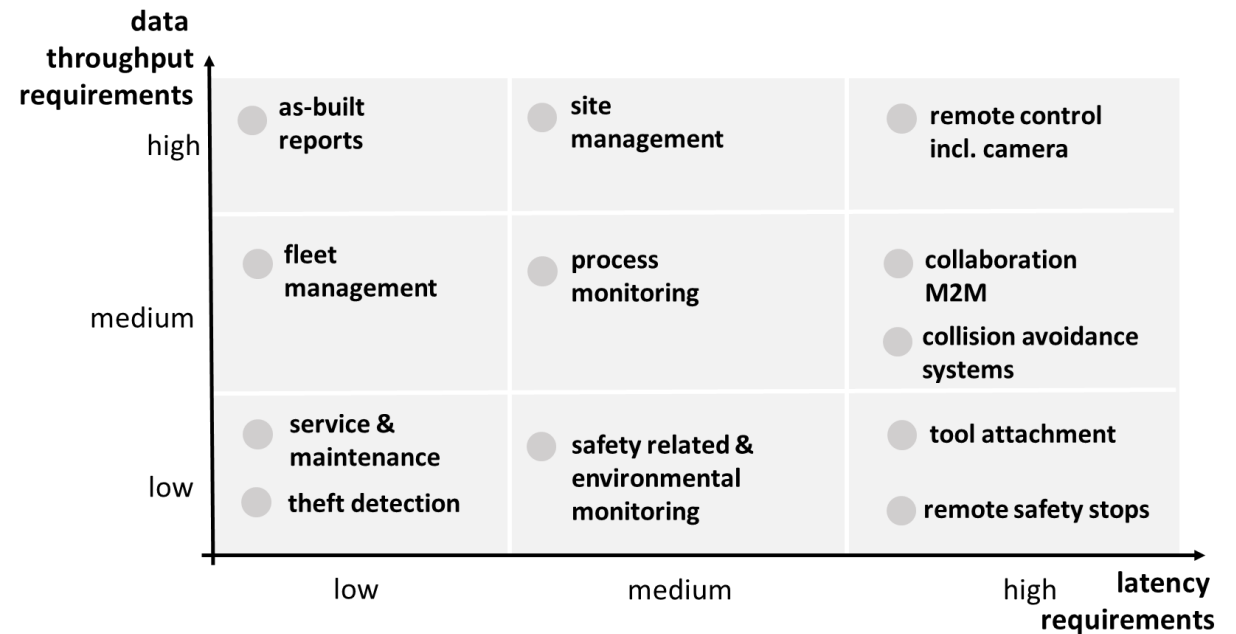
1. Überblick Bauen 4.0

2. Kommunikationsarchitekturen

3. Integration digitaler Abbilder

4. Ausblick

- Begleitende Prozesssimulation während der Bauausführung am Bohrgerät
- Modellbasierter, automatisierter Erdbau und Erfassung Ist-Zustand/Oberflächenmodell durch Bagger
- Auftragsübermittlung und Automatisierung der Kranbewegung am Ladekran
- Automatisiertes Fahren mit Radlader
- Digitaler Zwilling des Baggers zur Anomalieerkennung anhand von Betriebsdaten
- Flexible Baustellennetze (5G, Campusnetze, Mesh-network, MEC)
- Tracking und Tracing von Anbaugeräten, Material, Schüttgütern, Beistellgeräten



➔ **Div. Anforderungen an Latenz und Datenrate**

Lösungsansätze Vernetzung

1. Überblick Bauen 4.0

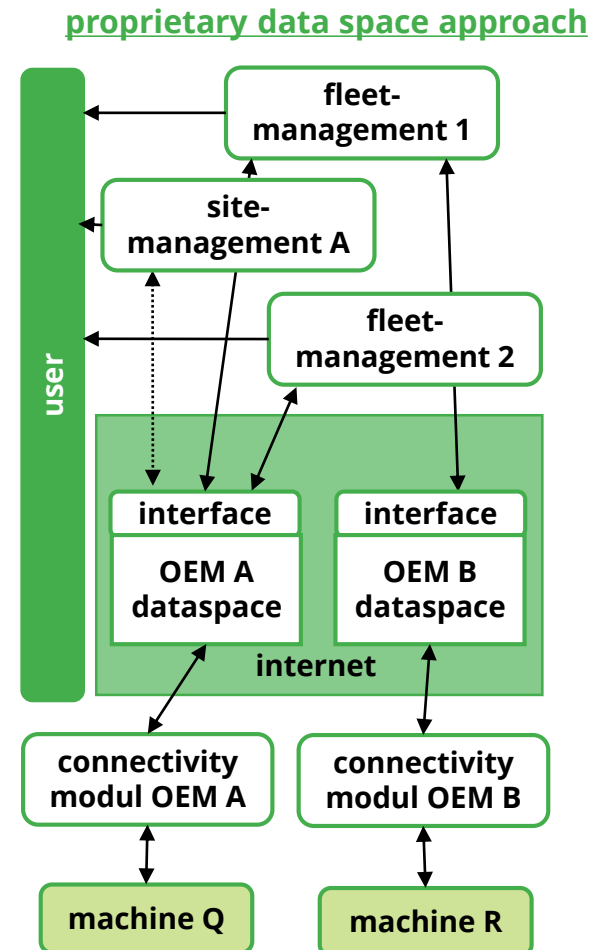
2. Kommunikationsarchitekturen

3. Integration digitaler Abbilder

4. Ausblick

Datenaustausch auf der Baustelle

- aktuell keine Norm für Kommunikation auf Baustellen
- ISO 15143-1 beschreibt keine Kommunikationsstandards bzw. -protokolle
- Kommunikation OEM Cloud zu FMS standardisiert in ISO 15143-3
 - XML Dateien via HTTPS-GET Request an bestimmte URL der OEM Cloud
- prinzipiell drei Varianten denkbar
 - **proprietary data space approach**
 - common data space approach
 - middleware approach



Quelle: *The Role of Construction Machinery on an Automated and Connected Construction Site*, V. Waurich, 4th International VDI Conference Smart Construction Equipment, 2020

Lösungsansätze Vernetzung

1. Überblick Bauen 4.0

2. Kommunikationsarchitekturen

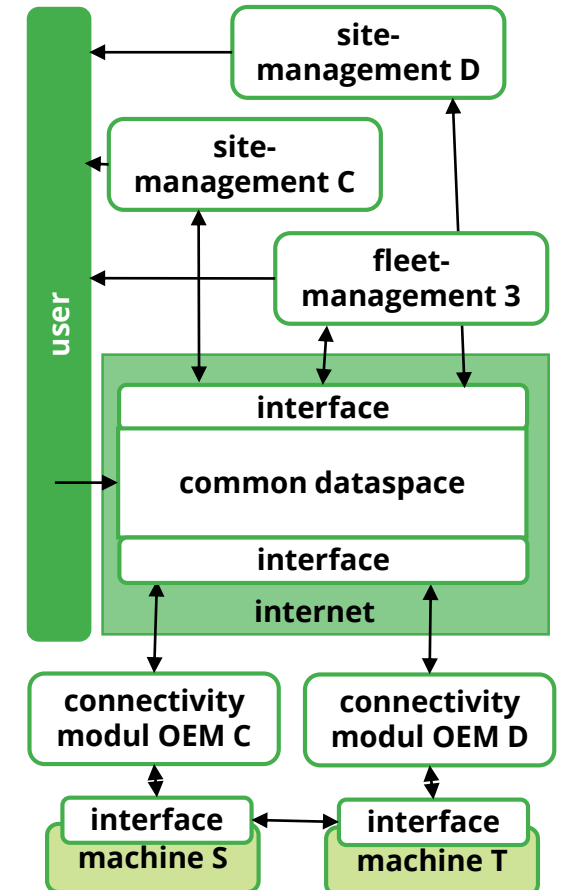
3. Integration digitaler Abbilder

4. Ausblick

Datenaustausch auf der Baustelle

- aktuell keine Norm für Kommunikation auf Baustellen
- ISO 15143-1 beschreibt keine Kommunikationsstandards bzw. -protokolle
- Kommunikation OEM Cloud zu FMS standardisiert in ISO 15143-3
 - XML Dateien via HTTPS-GET Request an bestimmte URL der OEM Cloud
- prinzipiell drei Varianten denkbar
 - proprietary data space approach
 - **common data space approach**
 - middleware approach

common data space approach



Quelle: *The Role of Construction Machinery on an Automated and Connected Construction Site*, V. Waurich, 4th International VDI Conference Smart Construction Equipment, 2020

Lösungsansätze Vernetzung

1. Überblick Bauen 4.0

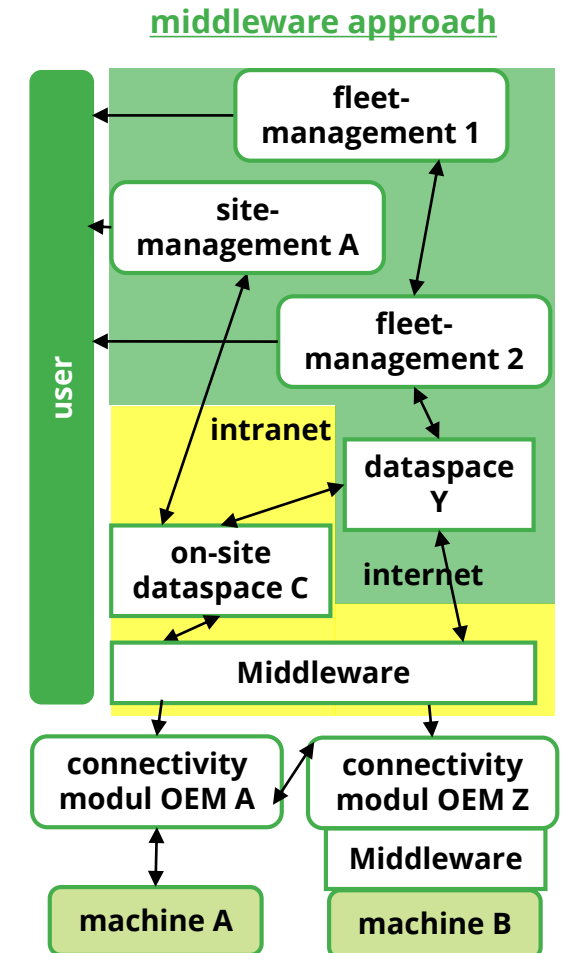
2. Kommunikationsarchitekturen

3. Integration digitaler Abbilder

4. Ausblick

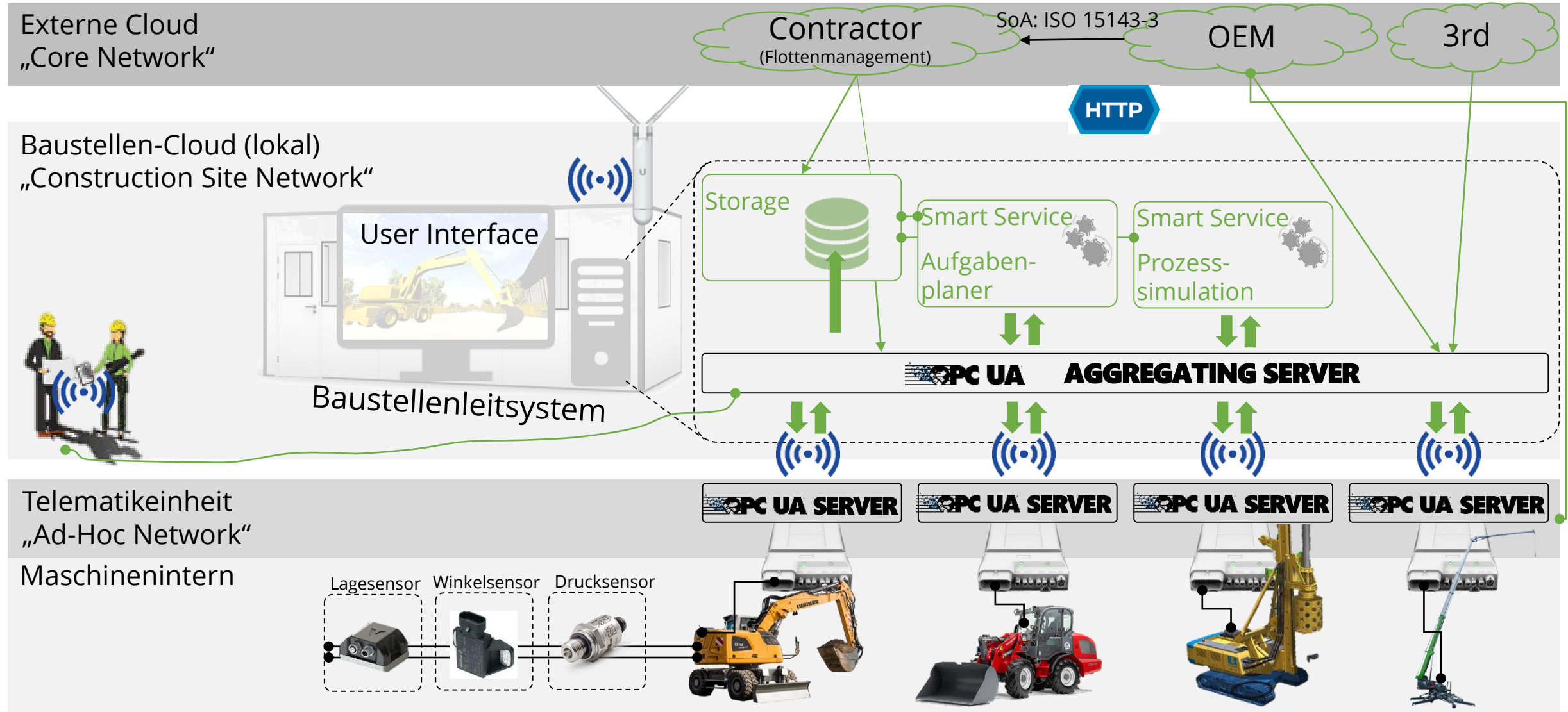
Datenaustausch auf der Baustelle

- aktuell keine Norm für Kommunikation auf Baustellen
- ISO 15143-1 beschreibt keine Kommunikationsstandards bzw. -protokolle
- Kommunikation OEM Cloud zu FMS standardisiert in ISO 15143-3
 - XML Dateien via HTTPS-GET Request an bestimmte URL der OEM Cloud
- prinzipiell drei Varianten denkbar
 - proprietary data space approach
 - common data space approach
 - **middleware approach**



Quelle: *The Role of Construction Machinery on an Automated and Connected Construction Site*, V. Waurich, 4th International VDI Conference Smart Construction Equipment, 2020

Gesamtarchitektur „Digitale Baustelle“



Eignung OPC UA für unterschiedliche Vernetzungsebenen

1. Überblick Bauen 4.0

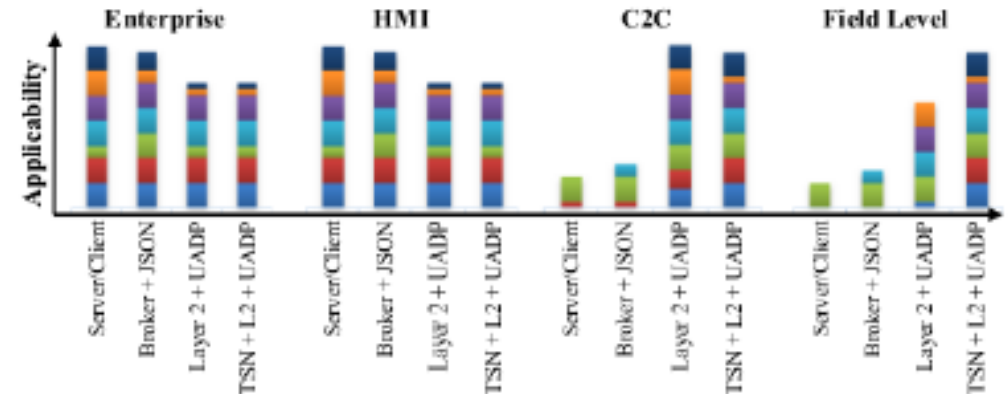
2. Kommunikationsarchitekturen

3. Integration digitaler Abbilder

4. Ausblick

- Use Cases lassen sich in 4 Kategorien mit unterschiedlichen Leistungsanforderungen gruppieren
 - Enterprise
 - HMI
 - C2C bzw. M2M
 - Field Level
- Kommunikationsvarianten mit OPC UA
 - Server/Client vs. Pub/Sub
 - Broker vs. Brokerless
 - AMQP vs. MQTT vs. UA UDP vs. UA Ethernet
 - JSON vs. UADP
- Fazit:
 - Server/Client für vertikale Vernetzung und HMI geeignet (1h – 100ms)
 - Horizontale Vernetzung benötigt Pub/Sub (250µs – 1ms)

Requirements	Enterprise	HMI	C2C	Field level
Latency / Cycle Time	1 s - 1 h	100 ms	1 ms	250 µs - 1 ms
Time Sync Accuracy	-	-	<1 ms	<1 µs
Decoupled Communication	(Time), Synchronization	Synchronization	Synchronization	Synchronization
Subscriber	>500	2	~100	~500
Hardware	PC	PC / Mobile Devices	High Level Embedded Devices	Embedded Devices
Configuration	Online	Online	Mostly offline	Mostly offline
QoS	Best effort traffic with reliable transmission	Best effort traffic with reliable transmission	Prioritized traffic with unreliable transmission	Scheduled traffic with unreliable transmission



Quelle: An evaluation of the applicability of OPC UA Publish Subscribe on factory automation use cases, A. Eckhardt et al.

3. Integration digitaler Abbilder

Integrationsmöglichkeiten digitaler Abbilder

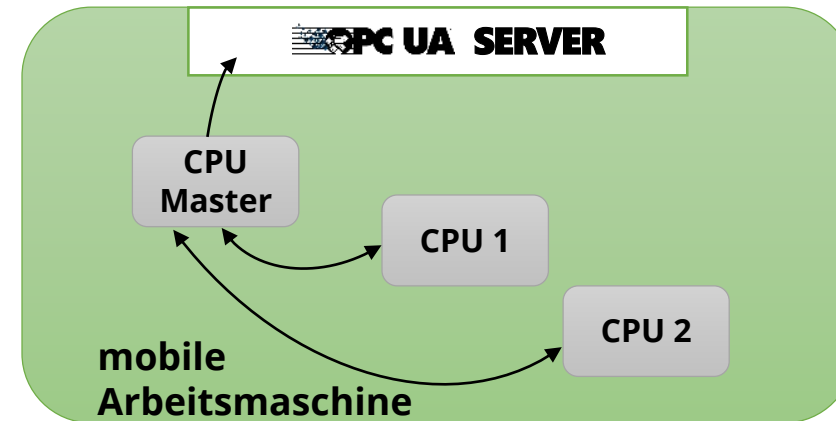
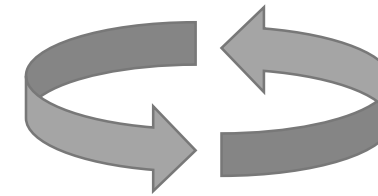
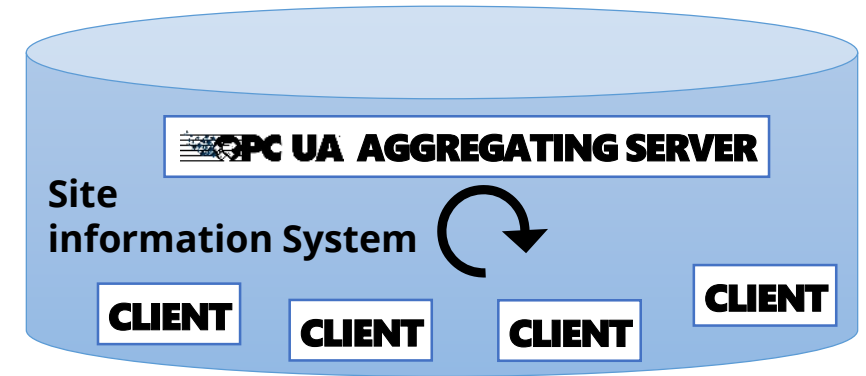
1. Überblick Bauen 4.0

2. Kommunikationsarchitekturen

3. Integration digitaler Abbilder

4. Ausblick

- Zielführende Integration abhängig von Use Case
- Klassische Kommunikationsanforderungen:
 - Latenz/Zykluszeit
 - ent-/gekoppelte Kommunikation
 - bi- oder direktional
 - Synchronisationsgenauigkeit
- Abhängigkeit Datenendpunkt bzw. Anwender
 - Bediener/Fahrer
 - Verschiedene Services/Tools im Site System
- mögliche Einbindungsvarianten
 - **proprietäre Kommunikation/internes Mapping**
 - Verbindung via UA Client
 - Verbindung via UA Server/Client (Maschine)
 - Verbindung via UA Server/Client (ext. Cloud)
 - Verbindung via UA Server/Client (Site System)



Integrationsmöglichkeiten digitaler Abbilder

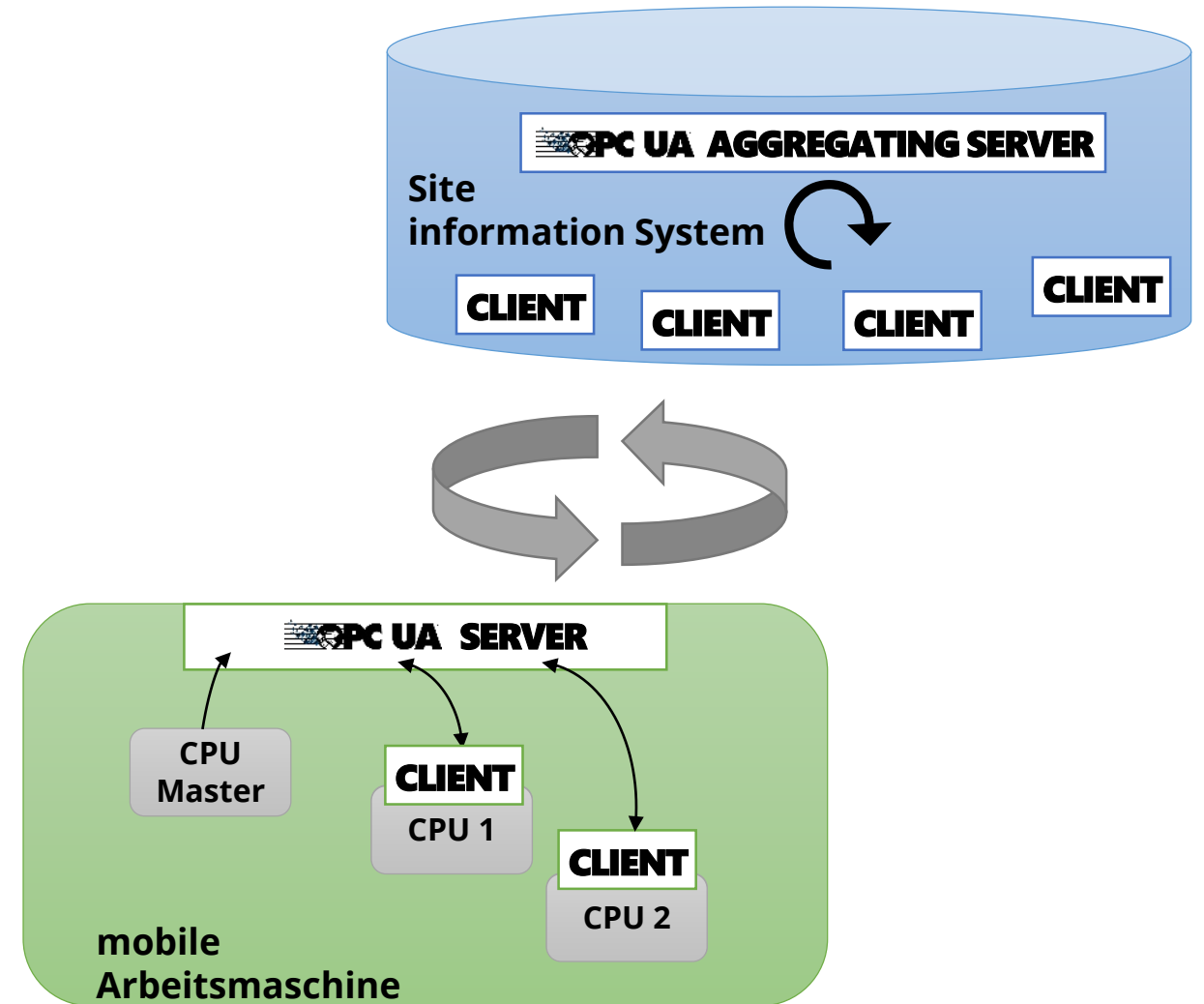
1. Überblick Bauen 4.0

2. Kommunikationsarchitekturen

3. Integration digitaler Abbilder

4. Ausblick

- Zielführende Integration abhängig von Use Case
- Klassische Kommunikationsanforderungen:
 - Latenz/Zykluszeit
 - ent-/gekoppelte Kommunikation
 - bi- oder direktional
 - Synchronisationsgenauigkeit
- Abhängigkeit Datenendpunkt bzw. Anwender
 - Bediener/Fahrer
 - Verschiedene Services/Tools im Site System
- mögliche Einbindungsvarianten
 - proprietäre Kommunikation/internes Mapping
 - **Verbindung via UA Client**
 - Verbindung via UA Server/Client (Maschine)
 - Verbindung via UA Server/Client (ext. Cloud)
 - Verbindung via UA Server/Client (Site System)



Integrationsmöglichkeiten digitaler Abbilder

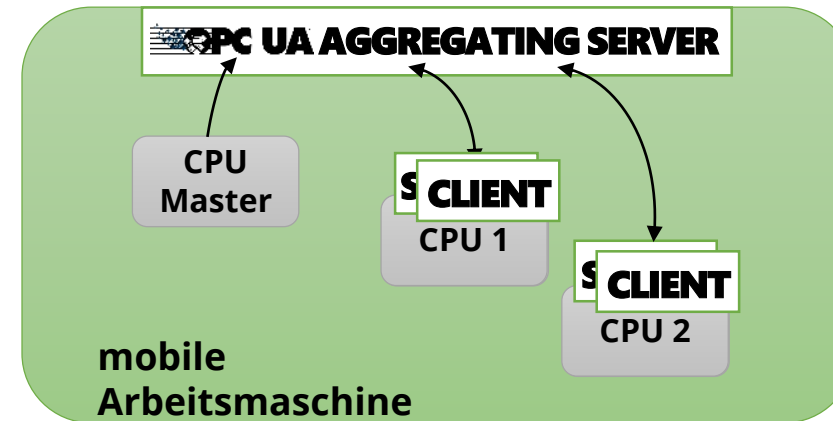
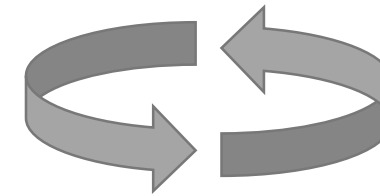
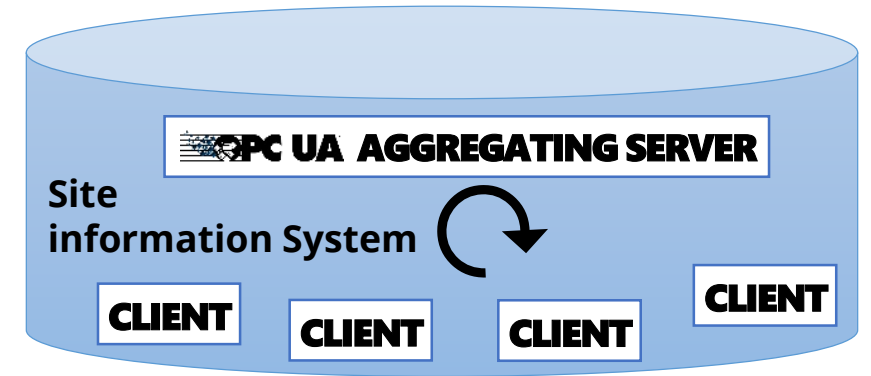
1. Überblick Bauen 4.0

2. Kommunikationsarchitekturen

3. Integration digitaler Abbilder

4. Ausblick

- Zielführende Integration abhängig von Use Case
- Klassische Kommunikationsanforderungen:
 - Latenz/Zykluszeit
 - ent-/gekoppelte Kommunikation
 - bi- oder direktional
 - Synchronisationsgenauigkeit
- Abhängigkeit Datenendpunkt bzw. Anwender
 - Bediener/Fahrer
 - Verschiedene Services/Tools im Site System
- mögliche Einbindungsvarianten
 - proprietäre Kommunikation/internes Mapping
 - Verbindung via UA Client
 - **Verbindung via UA Server/Client (Maschine)**
 - Verbindung via UA Server/Client (ext. Cloud)
 - Verbindung via UA Server/Client (Site System)



Integrationsmöglichkeiten digitaler Abbilder

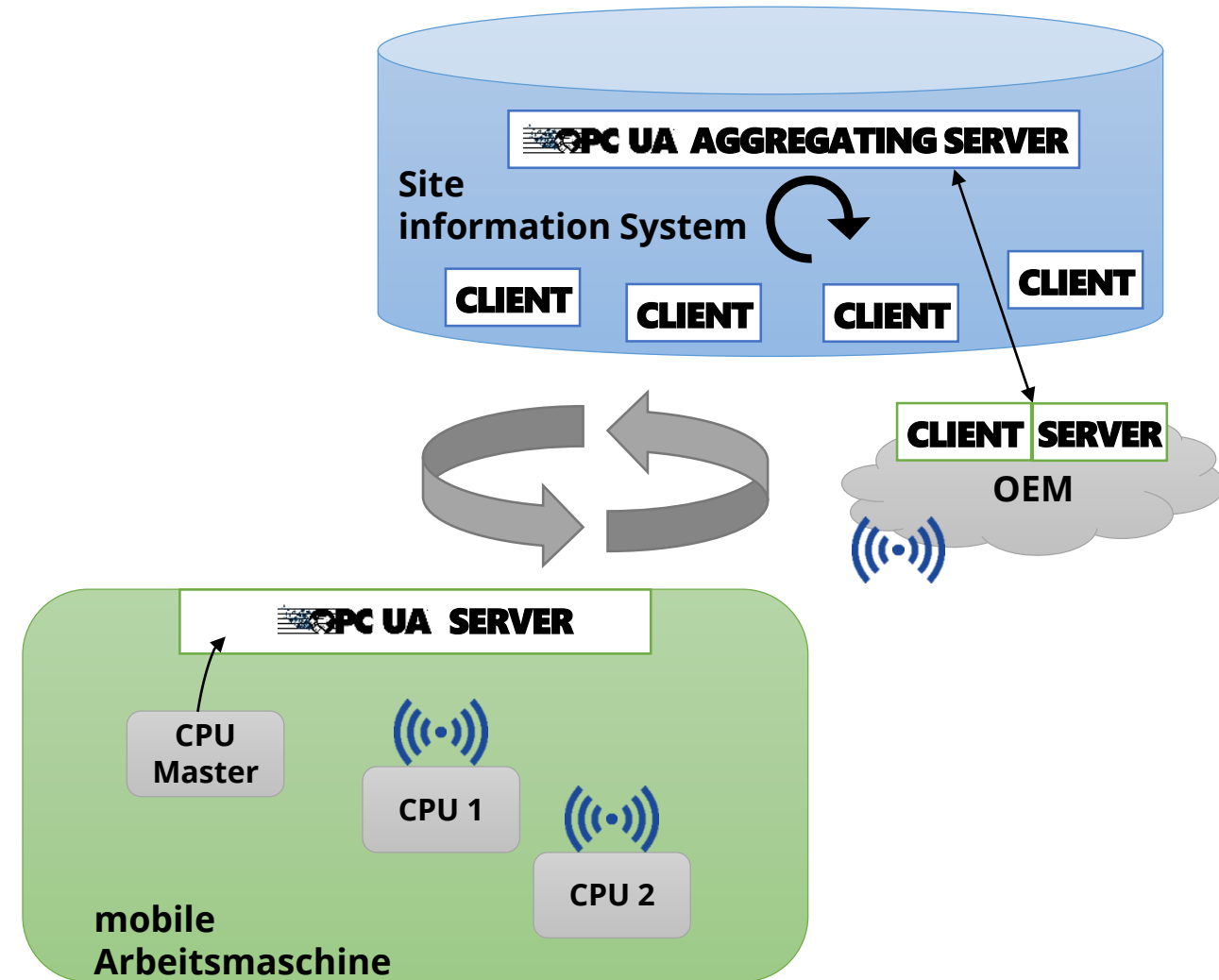
1. Überblick Bauen 4.0

2. Kommunikationsarchitekturen

3. Integration digitaler Abbilder

4. Ausblick

- Zielführende Integration abhängig von Use Case
- Klassische Kommunikationsanforderungen:
 - Latenz/Zykluszeit
 - ent-/gekoppelte Kommunikation
 - bi- oder direktional
 - Synchronisationsgenauigkeit
- Abhängigkeit Datenendpunkt bzw. Anwender
 - Bediener/Fahrer
 - Verschiedene Services/Tools im Site System
- mögliche Einbindungsvarianten
 - proprietäre Kommunikation/internes Mapping
 - Verbindung via UA Client
 - Verbindung via UA Server/Client (Maschine)
 - **Verbindung via UA Server/Client (ext. Cloud)**
 - Verbindung via UA Server/Client (Site System)



Integrationsmöglichkeiten digitaler Abbilder

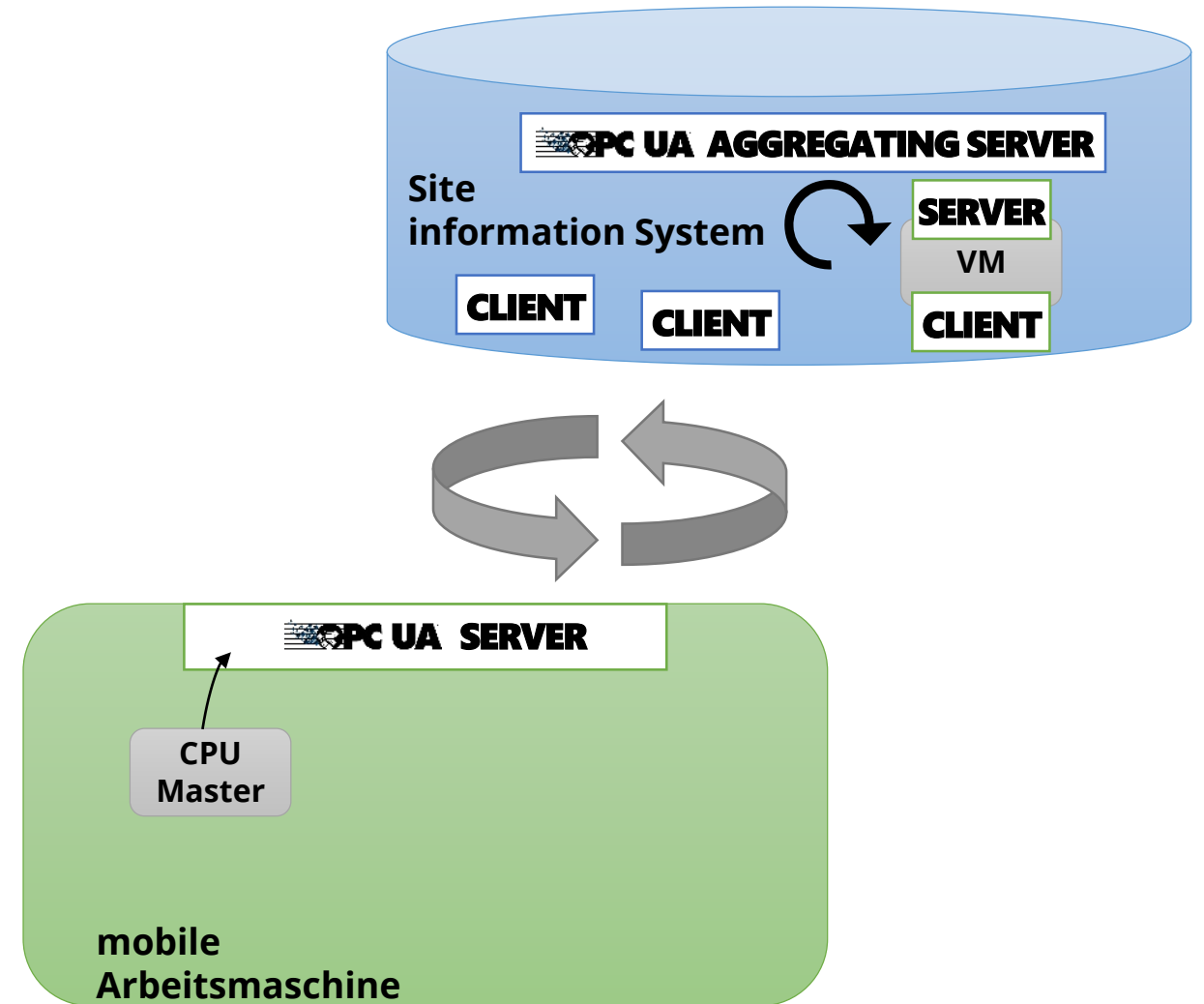
1. Überblick Bauen 4.0

2. Kommunikationsarchitekturen

3. Integration digitaler Abbilder

4. Ausblick

- Zielführende Integration abhängig von Use Case
- Klassische Kommunikationsanforderungen:
 - Latenz/Zykluszeit
 - ent-/gekoppelte Kommunikation
 - bi- oder direktional
 - Synchronisationsgenauigkeit
- Abhängigkeit Datenendpunkt bzw. Anwender
 - Bediener/Fahrer
 - Verschiedene Services/Tools im Site System
- mögliche Einbindungsvarianten
 - proprietäre Kommunikation/internes Mapping
 - Verbindung via UA Client
 - Verbindung via UA Server/Client (Maschine)
 - Verbindung via UA Server/Client (ext. Cloud)
 - **Verbindung via UA Server/Client (Site System)**



Use Case: Remote Diagnose

1. Überblick Bauen 4.0

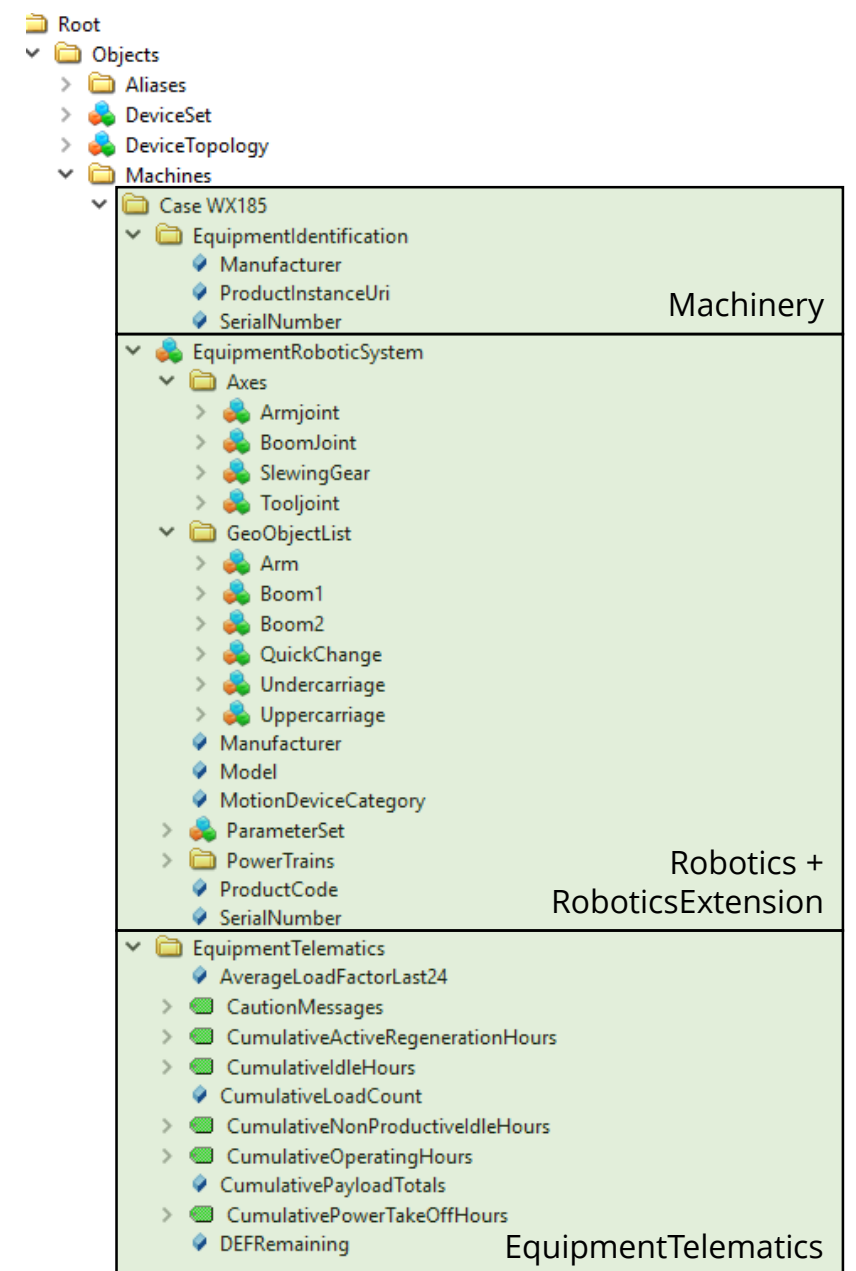
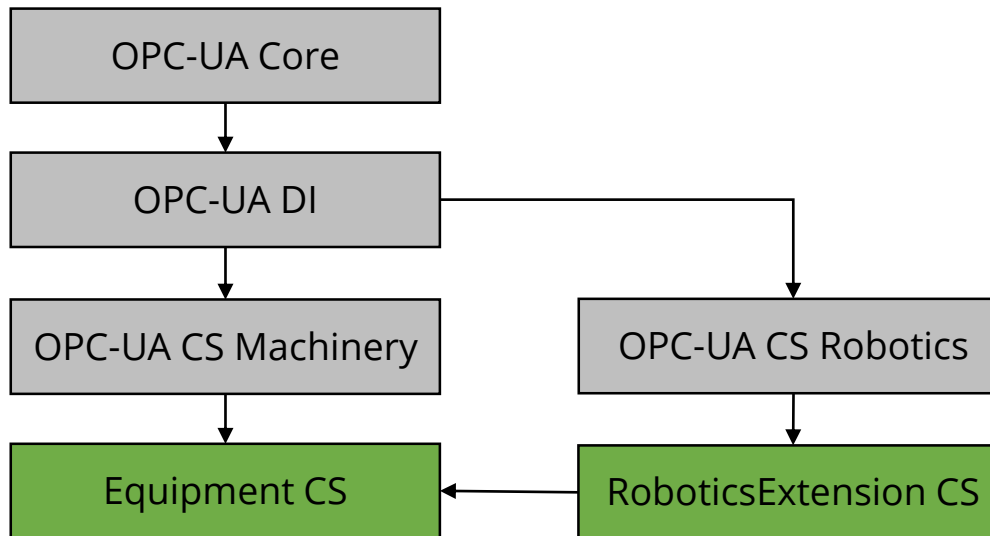
2. Kommunikationsarchitekturen

3. Integration digitaler Abbilder

4. Ausblick

Enthaltene Funktionalitäten:

- Finden einer Maschine auf dem Server und eindeutige **Identifikation** der Maschine (VDMA 40001-1 OPC UA for Machinery)
- Beschreibung der Maschine als **Robotics:MotionDeviceType** (VDMA 400101-1 OPC UA Companion Specification Robotics)
- Erweiterung zur vollständigen kinematischen Beschreibung für Vorwärtsrechnung
- EquipmentTelematics umfasst alle Daten der ISO 15143-3



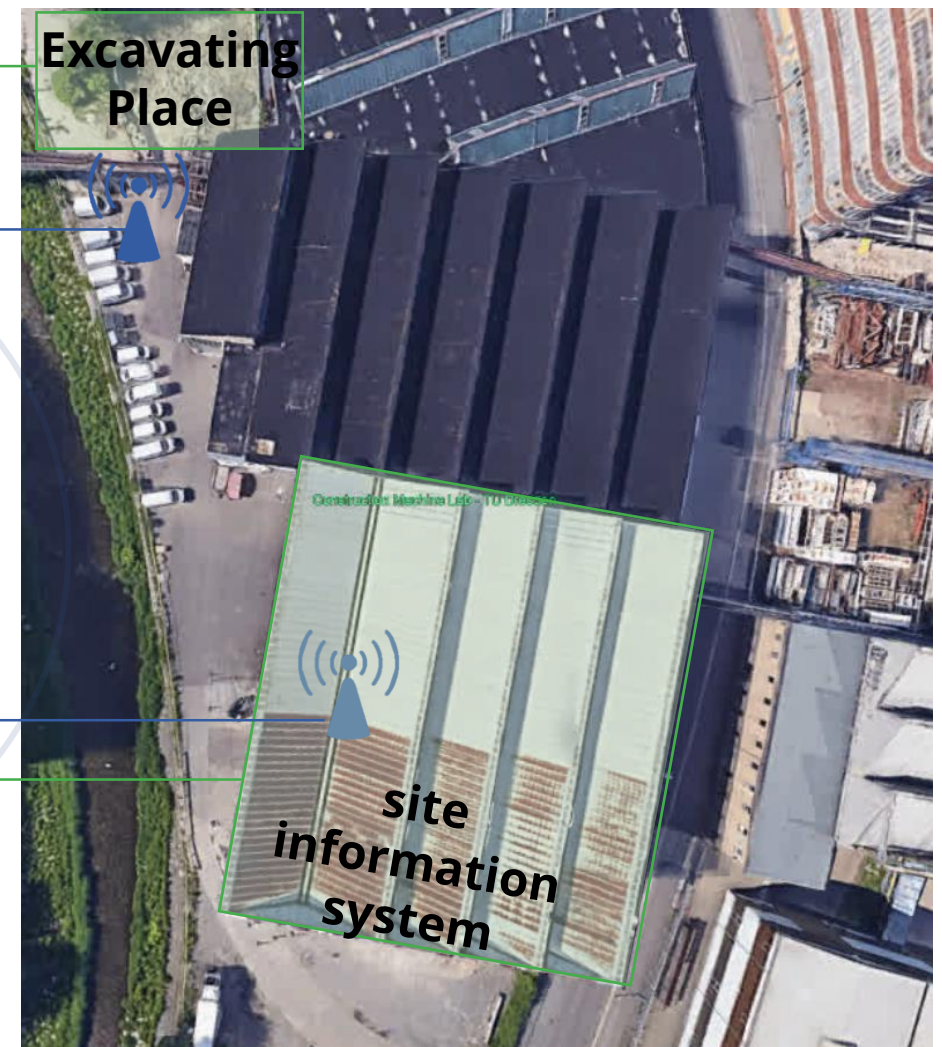
Use Case: Remote Diagnose

1. Überblick Bauen 4.0

2. Kommunikationsarchitekturen

3. Integration digitaler Abbilder

4. Ausblick



Use Case: Remote Diagnose

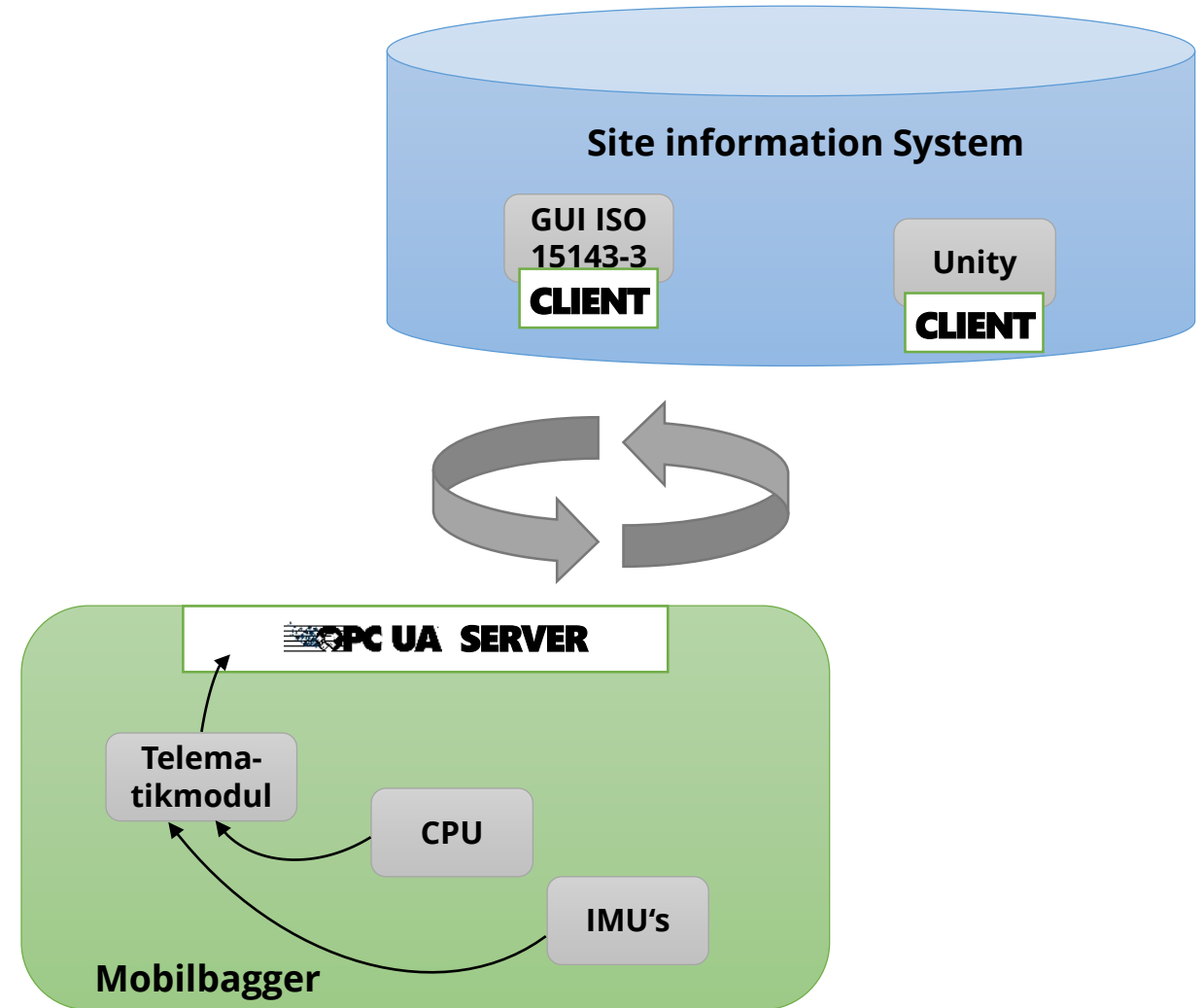
1. Überblick Bauen 4.0

2. Kommunikationsarchitekturen

3. Integration digitaler Abbilder

4. Ausblick

- Zielführende Integration abhängig von Use Case
- Klassische Kommunikationsanforderungen:
 - Latenz/Zykluszeit
 - ent-/gekoppelte Kommunikation
 - bi- oder direktional
 - Synchronisationsgenauigkeit
- Abhängigkeit Datenendpunkt bzw. Anwender
 - Bediener/Fahrer
 - Verschiedene Services/Tools im Site System
- mögliche Einbindungsvarianten
 - **proprietäre Kommunikation/internes Mapping**
 - Verbindung via UA Client
 - Verbindung via UA Server/Client (Maschine)
 - Verbindung via UA Server/Client (ext. Cloud)
 - **Verbindung via UA Server/Client (Site System)**



Weitere Use Cases

1. Überblick Bauen 4.0

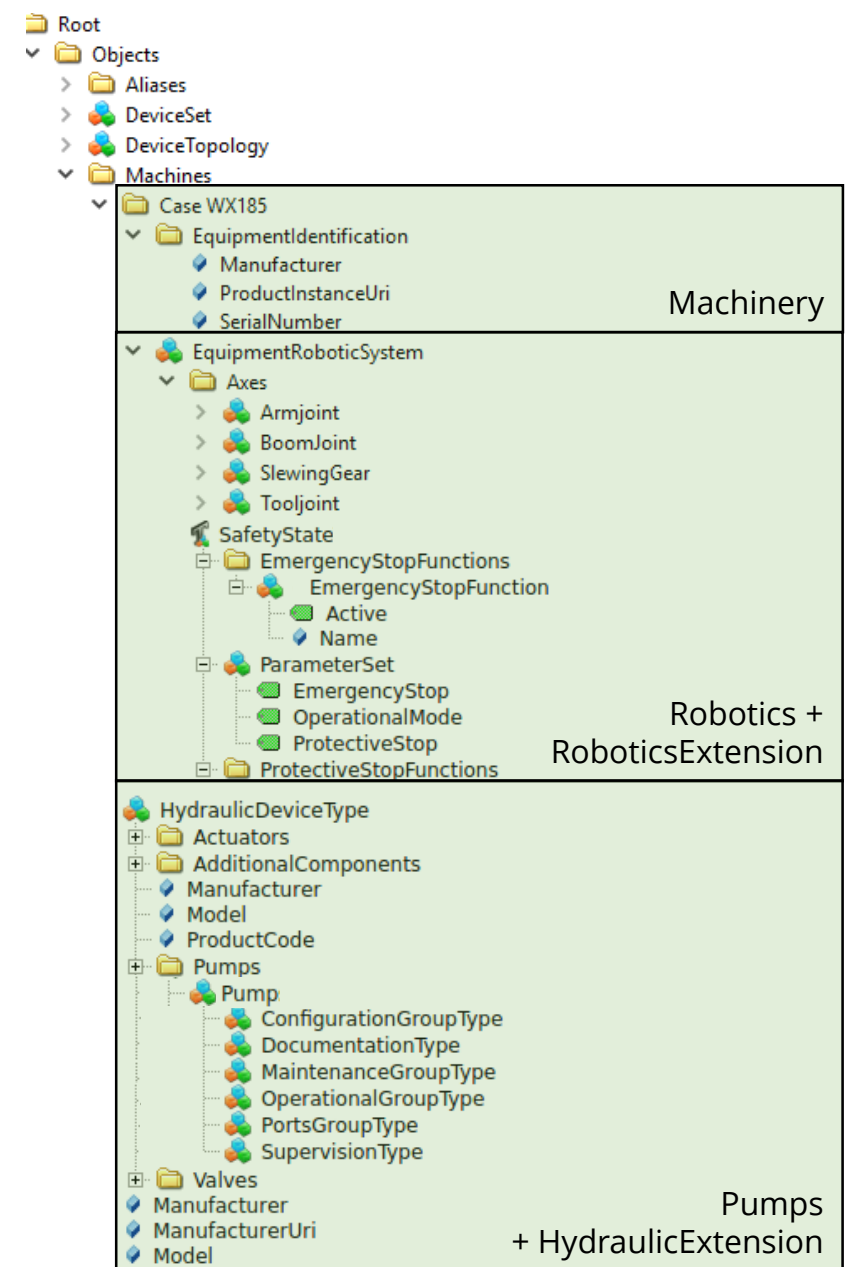
2. Kommunikationsarchitekturen

3. Integration digitaler Abbilder

4. Ausblick

Laufende Erweiterungen:

- Implementierung SafetyStates für die Arbeitsausrüstung auf Basis des **Robotics:SafetyStateType** (VDMA 400101-1 OPC UA Companion Specification Robotics)
- Beschreibung der Maschine als **HydraulicDeviceSystemType** in Anlehnung an **Robotics:MotionDeviceType** (VDMA 400101-1 OPC UA Companion Specification Robotics)
- Hydraulische Komponentenmodelle in Anlehnung an **PumpType** (Draft VDMA 40223 Companion for pumps and vacuum pumps)
- Implementierung digitaler Abbilder (Hydrauliküberwachung) auf CPU (**internes Mapping**)
- Use Cases:
 - Anbindung Flottenmanagement bzw. Maintenance & Service
 - Visualisierung Fehlerzustand für Bediener



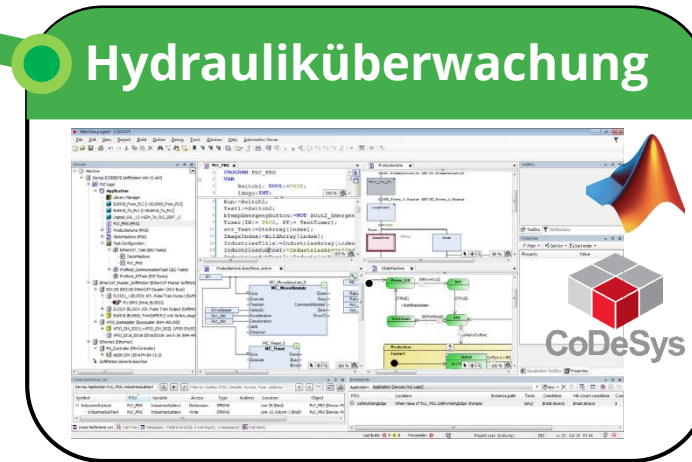
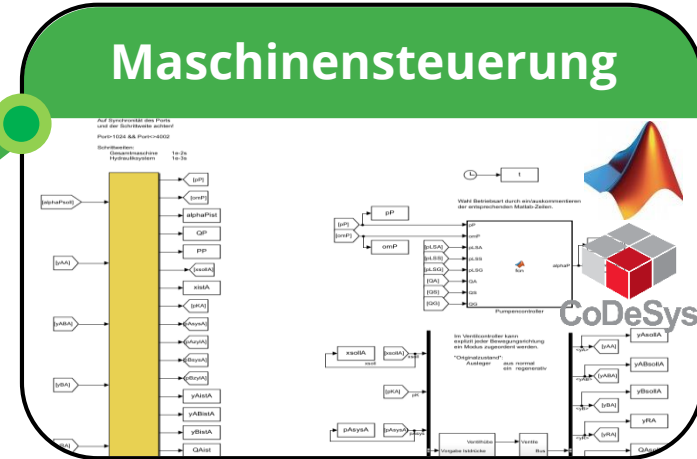
Validierung/Verifizierung via Software-in-the-Loop

1. Überblick Bauen 4.0

2. Kommunikationsarchitekturen

3. Integration digitaler Abbilder

4. Ausblick



4. Ausblick

Next Steps

1. Überblick Bauen 4.0

2. Kommunikationsarchitekturen

3. Integration digitaler Abbilder

4. Ausblick

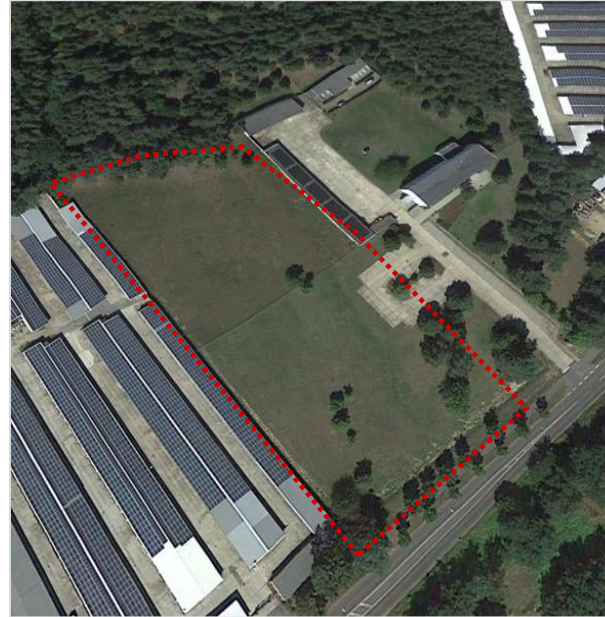
2021

2022



- Skalierung Lösungskonzept: Anwendung auf unt. Maschinen
- Aufbau eines Local Site Server
- Integration des Bauen 4.0 Connectivity Moduls

 Fabrikstraße 48, Dresden



- Wechsel von WiFi zu 5G Campus
- Autonomer Fahrbetrieb mit einem Radlader
- Remote Control Arbeitsplatz für mobile Arbeitsmaschinen

 Industriegebiet Zeißig, Hoyerswerda



- Vorbereitung Demonstrationsszenario
- Aufbau von Infrastruktur und unternehmerischen Organisationsformen für die Benutzung nach Projektende

 Gewerbegebiet Klingewalde, Görlitz



GEFÖRDERT VOM

**Bundesministerium
für Bildung
und Forschung**

BETREUT VOM



PTKA
Projektträger Karlsruhe
Karlsruher Institut für Technologie

Kontakt

Dipl.-Ing. Simon Köhler

Professur für Fluid-Mechatronische Systemtechnik

✉ : simon.koehler1@tu-dresden.de

☎ : +49 351 – 463 34558



SCAN ME

[Website](#)



[@bauen40](#)