

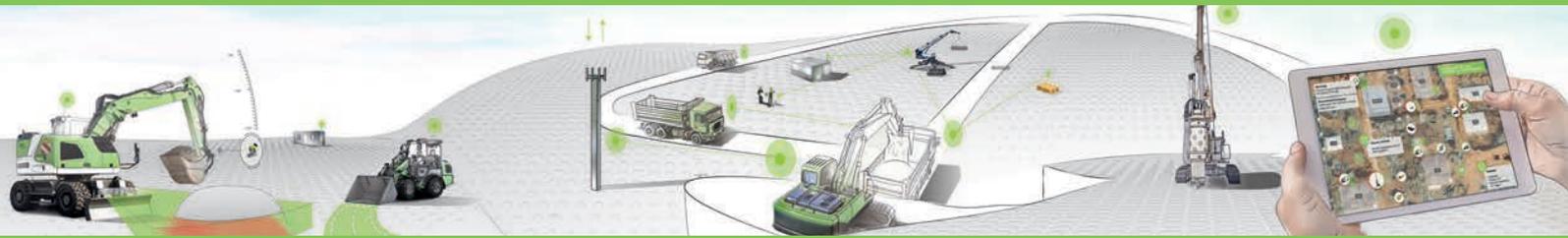


# B4AUEN

BAUPROZESSE | VERNETZUNG | MASCHINEN

**ABSCHLUSSBROSCHÜRE**

Effizientere und produktivere Bauprozesse durch Vernetzung und Kommunikation mobiler Maschinen



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

BETREUT VOM



**PTKA**  
Projektträger Karlsruhe  
Karlsruher Institut für Technologie

# Inhalt

Grußwort Prof. Dr. Ina Schieferdecker, Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) .....	3
Grußwort Prof. Dr. Jürgen Weber, Institut für Fluid-Mechatronische Systemtechnik, TU Dresden .....	4
Die Bauen-4.0-Systemarchitektur .....	5
Bauprojektmanagement .....	7
Baustellenleitsystem .....	8

## Automatisierbare, vernetzte Arbeitsmaschinen

Mobilbagger .....	10
Radlader .....	11
Ladekran .....	12
Drehbohrgerät .....	13
Condition Monitoring System .....	14
Systemsimulation .....	15
Automatisierungsgerechte Antriebstechnik .....	16
Umfelderkennung .....	17
Navigationssystem und App-Plattform .....	18

## 5G-Maschinen- und Baustellenvernetzung

Connectivity-Modul .....	20
Cloud Connectivity .....	21
5G-Campusnetze .....	22

## Prozesse und Lösungen für die digitale Baustelle

Prozesssimulation .....	26
Tracking & Tracing .....	27
Tracking & Tracing in Action .....	28
Fahrerleitsystem .....	29
BIMsite .....	30
Demoszenario Kanalbau .....	31
Projektpartner .....	33

## Grußwort Prof. Dr. Ina Schieferdecker

### Digitalisierte Bauprozesse als Beitrag zur technologischen Souveränität



Sehr geehrte Damen und Herren,

Industrie 4.0 steht für die vernetzte Digitalisierung in der Industrie – in der Produktion, in den Lieferketten, von Produkten und Dienstleistungen – und ist ein Kernelement des BMBF-Programms „Zukunft der Wertschöpfung“. Trotz ihrer großen Bedeutung für Deutschland fanden sich bisher im Bauwesen nur wenige Anwendungsbeispiele.

Darum haben wir uns gefreut, dass bei unserer Fördermaßnahme „Industrie 4.0 – Kollaborationen in dynamischen Wertschöpfungsnetzwerken“ auch spannende Projekte aus dem „Bau“ dabei waren. Das Verbundprojekt Bauen 4.0 steht für die nächste Stufe der Automatisierung von Baumaschinen sowie für die durchgängige Digitalisierung und Vernetzung aller Bauprozesse.

Bauen 4.0 ist somit ein Projekt, das sehr gut in unser Programm „Zukunft der Wertschöpfung“ passt. Mit dem Programm, das im März 2021 mit einer Laufzeit von sieben Jahren gestartet ist, wollen wir Lösungsansätze entwickeln, die für eine ganzheitliche Gestaltung von Prozessen, Geschäftsmodellen, Arbeitsplätzen, Berufsbildern und Organisationen von morgen notwendig sind.

Eingebettet wird das Programm als eines der zentralen Handlungsfelder in das kommende Rahmenprogramm zur „Technologischen Souveränität“. Deutschland und die EU müssen technologisch souveräner werden. Wir müssen in der Lage sein, Schlüsseltechnologien zu verstehen, wesentliche Komponenten zu entwickeln, zu produzieren und Lieferketten systemisch resilienter zu gestalten – so sichern wir Innovationspotenziale, Arbeitsplätze und Wohlstand und wahren unsere Werte.

Bauen 4.0 adressiert verschiedene Themenkomplexe der technologischen Souveränität – etwa den Einsatz moderner Kommunikationstechnologien, die Entwicklung und Nutzung moderner Software, die Anwendung von künstlicher Intelligenz und Lösungen für eine souveräne Datenökonomie. Wir begrüßen die vielseitigen Ergebnisse dieses Verbundprojekts und hoffen, dass sie breiten Einzug in die Anwendung finden.

*Prof. Dr. Ina Schieferdecker, Abteilungsleiterin der Abteilung Forschung für technologische Souveränität und Innovationen im Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)*

## Grußwort Prof. Dr. Jürgen Weber

### Praxisorientierte Verbundforschung für die Zukunft der Wertschöpfung auf Baustellen



Sehr geehrte Damen und Herren,

die Digitalisierung ist ein allgegenwärtiger Bestandteil unseres täglichen Lebens und mittlerweile auch der industriellen Produktion. Der Begriff Bauen 4.0 wurde jedoch oft hinterfragt und manchmal belächelt. Während die Bau- und Gebäudeplanung ihrem Vorbild aus der industriellen Produktion wenig nachsteht, verharrte die Baumaschine – als kraftvolles Symbol der eigentlichen Bauausführung – lange Zeit in einer eher konventionellen Entwicklungsphase. Und sie tut es vielerorts noch immer. Eine durchgängige daten- und informationsbasierte Automatisierung, Kommunikation und Verfügbarkeit – als wesentliche Bausteine der Digitalisierung – steckten bisher noch in den Kinderschuhen. Daher war es und wird es weiterhin unser Anspruch sein, den breit angelegten Forschungs- und Entwicklungsprozess hin zur digitalisierten Baustelle nicht nur zu begleiten, sondern durch Projekte wie unser Bauen-4.0-Verbundprojekt zu gestalten.

Ich freue mich deshalb sehr, Ihnen nun nach drei Jahren Entwicklung einen Überblick über die Breite und Tiefe der Forschungsergebnisse in dieser Broschüre präsentieren zu können. Denn ich bin der Überzeugung, dass sich aus der Verknüpfung von Maschinentechologien und Bauprozessen mittels modernster Funkstandards einige der aktuellen Herausforderungen der Baubranche lösen lassen. Auch hier gilt für mich nach wie vor: Der Mensch steht dabei im Vordergrund und soll durch intelligente technische Systeme und automatisierte Prozesse bestmöglich bei der Arbeit unterstützt werden.

Welche Lösungen das Bauen-4.0-Team dafür entwickelt hat, erfahren Sie auf den folgenden Seiten.

Viel Gewinn bei der Lektüre!

Mit freundlichen Grüßen

*Prof. Dr. Jürgen Weber,  
Leiter des Instituts für Fluid-Mechatronische Systemtechnik der TU Dresden*

# Die Bauen-4.0-Systemarchitektur

## Lösungsansatz für die Herausforderungen auf Baustellen

### Die besonderen Anforderungen einer Baustelle lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

**Unikatcharakter:** Bauprojekte zeichnen sich – im Gegensatz zu Projekten in der Industrie – durch einen hohen Individualisierungsgrad hinsichtlich des zu produzierenden Objekts und der variierenden örtlichen Randbedingungen aus.

**Hohe Fragmentierung:** Heterogene Gewerke und eine Vielzahl an Untervergaben sowie die hohe Anzahl und große Diversität der Stakeholder lassen die Komplexität von Bauvorhaben steigen.

**Fachkräftemangel:** Befragungen von Bauunternehmen hinsichtlich geschäftsschädigender Trends weisen den Fachkräftemangel an erster Stelle aus. Gerade kleine und mittelständische Unternehmen können oft nur lokal und mit begrenzten Ressourcen rekrutieren.

**Eingeschränkte Mobilfunkabdeckung:** Die zur Digitalisierung unerlässliche Mobilfunkabdeckung konzentriert sich auf die Metropolen. Gerade ausgedehnte Infrastruktur-Baustellen im ländlichen Raum stehen dabei vor einer enormen Herausforderung, zunächst eine Mobilfunkabdeckung sicherzustellen.

### Daraus lassen sich folgende Vorgaben für digitale Systemarchitektur auf der Baustelle ableiten:

**Lokale Infrastruktur mit bedarfsgerechter globaler Anbindung:** Die Bauen-4.0-Systemarchitektur sieht eine lokale Netzinfrastruktur auf Basis modernster Funktechnologien wie u.a. 5G-Campusnetze vor. Auch bei fehlender öffentlicher Mobilfunkabdeckung ist so der Datenaustausch auf der Baustelle möglich. Die Daten werden auf der Baustelle verarbeitet und zielgerichtet nach außen kommuniziert.

**Interoperabilität für gemischte Flotten:** Für den herstellerunabhängigen Datenaustausch setzt die Bauen-4.0-Systemarchitektur auf den offenen Industrie-4.0-Standard OPC UA. Neue Maschinen auf der Baustelle können auf diese Weise einfach und schnell in das Datenökosystem integriert werden.

**Automatisierter Datenfluss:** Arbeitsaufträge sowie Maschinenservice- und Prozessdaten werden automatisiert zwischen den Maschinen und einem Baustellenleitsystem ausgetauscht. Damit bleibt dem Baustellenpersonal die lästige Zettelwirtschaft erspart.

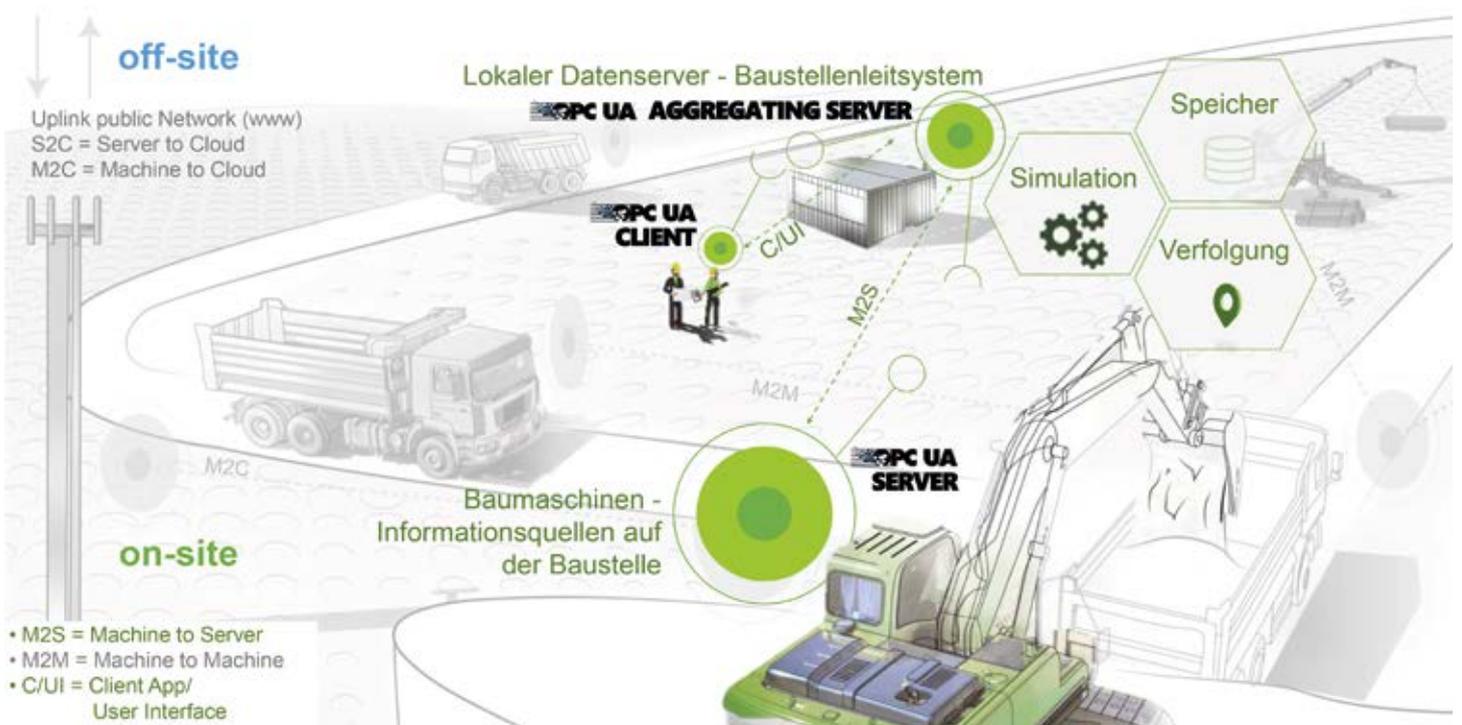
**Intelligente Apps im Baustellenleitsystem:** Aus den wertvollen Daten generieren Apps zur Prozesssimulation oder zum Tracking & Tracing Entscheidungshilfen für das Baustellenpersonal.

**Kontakt:** TU Dresden · Professur für Fluid-Mechatronische Systemtechnik

Benjamin Beck · E-Mail: benjamin.beck@tu-dresden.de · Telefon: 0351 463-33706

**Kontakt:** TU München · Professur für Fördertechnik, Materialfluss und Logistik

Stephan Kessler · E-Mail: stephan.kessler@tum.de · Telefon: 089 289-15925



Die Bauen-4.0-Systemarchitektur

## Verbundprojekt Bauen 4.0 auf einen Blick

- Laufzeit:** 1. Juli 2019 bis 31. Dezember 2022
- Partner:** 20 Unternehmen, 5 Forschungsinstitute, 5 Verbände
- Budget:** 10 Mio. Euro, davon 5 Mio. Euro Förderung vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
- Koordinator:** TU Dresden, Professur für Fluid-Mechatronische Systemtechnik

# Bauprojektmanagement

als Basis für die effiziente Steuerung der Baustellenabläufe

Die Aufgabe des Bauprojektmanagements bestand in der Bereitstellung von Planungsmodellen und Prozessbeschreibungen für die Baustelle, in der Entwicklung von Schnittstellen zum Frontend des Baustellenleitsystems und zwischen den einzelnen Arbeitsbereichen sowie in dem Controlling und der Dokumentation/Reports für die Bauausführung.

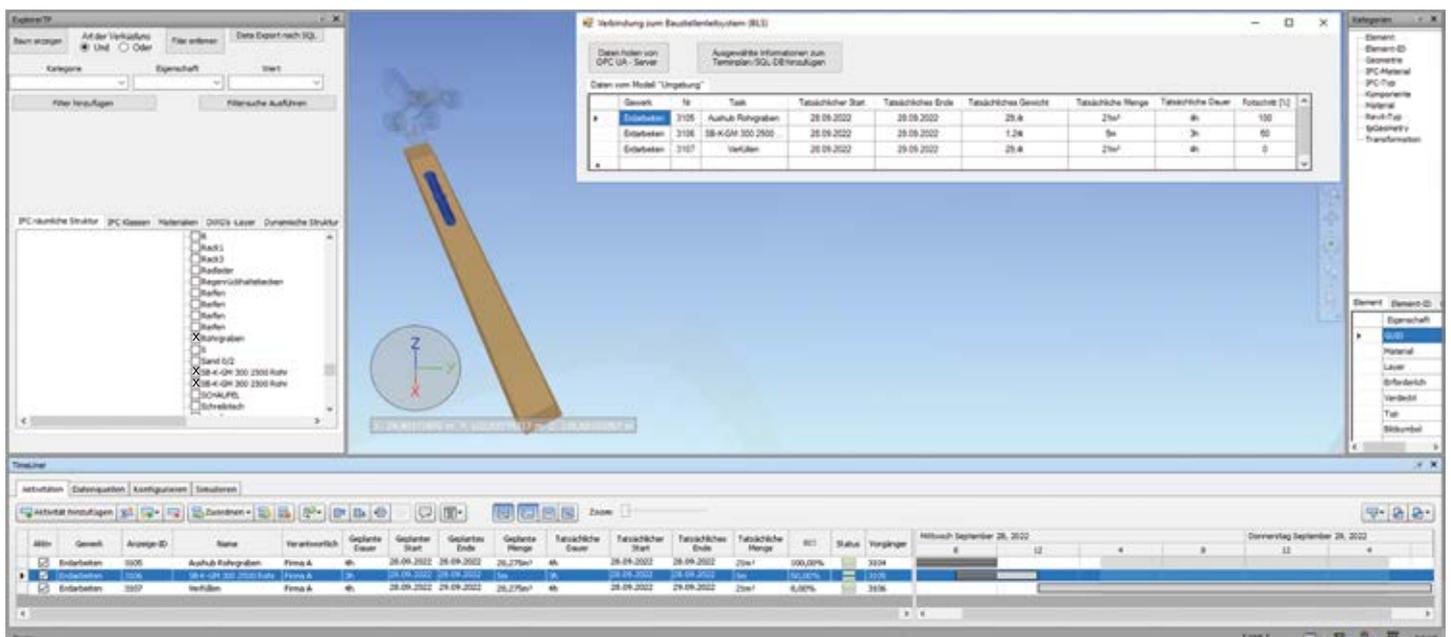
Die **Leistungen** des Projektmanagements umfassen:

- Definition der Prozessbeschreibungen, Datenaustauschformate, Anforderungen und Tools
- Definition der notwendigen Datenpakete und Zykluszeiten/Update-Raten
- Lieferung von Vorgabedaten (Zeitpläne, Leistungsverzeichnisse, Planungsmodelle für die Umsetzung)

- Sammlung und Analyse der Rückläufe von den Maschinen zum Ausführungsstand
- Dokumentation der Umsetzung als As-Built-Modell
- Bereitstellung von Bestands- und Abrechnungsdaten für Bauverantwortliche aus dem Baustellenleitsystem

Die **Entwicklungsschwerpunkte** lagen auf:

- automatischen Reports
- Digitalisierung der Baustellenprozesse und Datenlieferung
- Visualisierungen, Report-Templates und Frontend (Soll-Ist-Vergleiche von Mengen und Terminen, Geometrieabgleiche, Fotodokumentationen)
- Anbindung an das Baustellenleitsystem und den OPC-UA-Server inklusive der Übernahme und Visualisierung der Maschinendaten



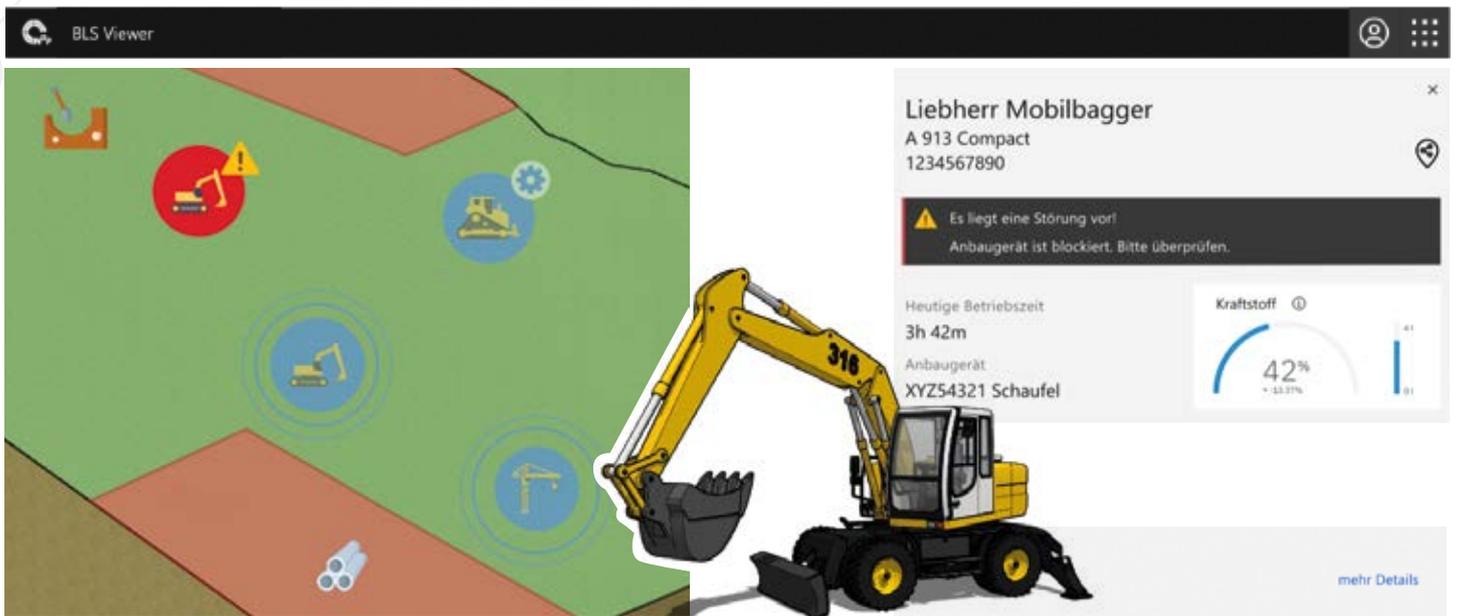
Planungsmodell inkl. OPC UA – Anbindung + Termine (Navisworks)

**Kontakt:** teamproject tp management GmbH

**Andreas Tigges** · E-Mail: andreas.tigges@teamproject.de · Telefon: 0173 3966062

# Baustellenleitsystem

mit seinen Komponenten  
„Controller“ und „Viewer“ für mehr Überblick



*Screenshot des Baustellenleitsystem-Viewers*

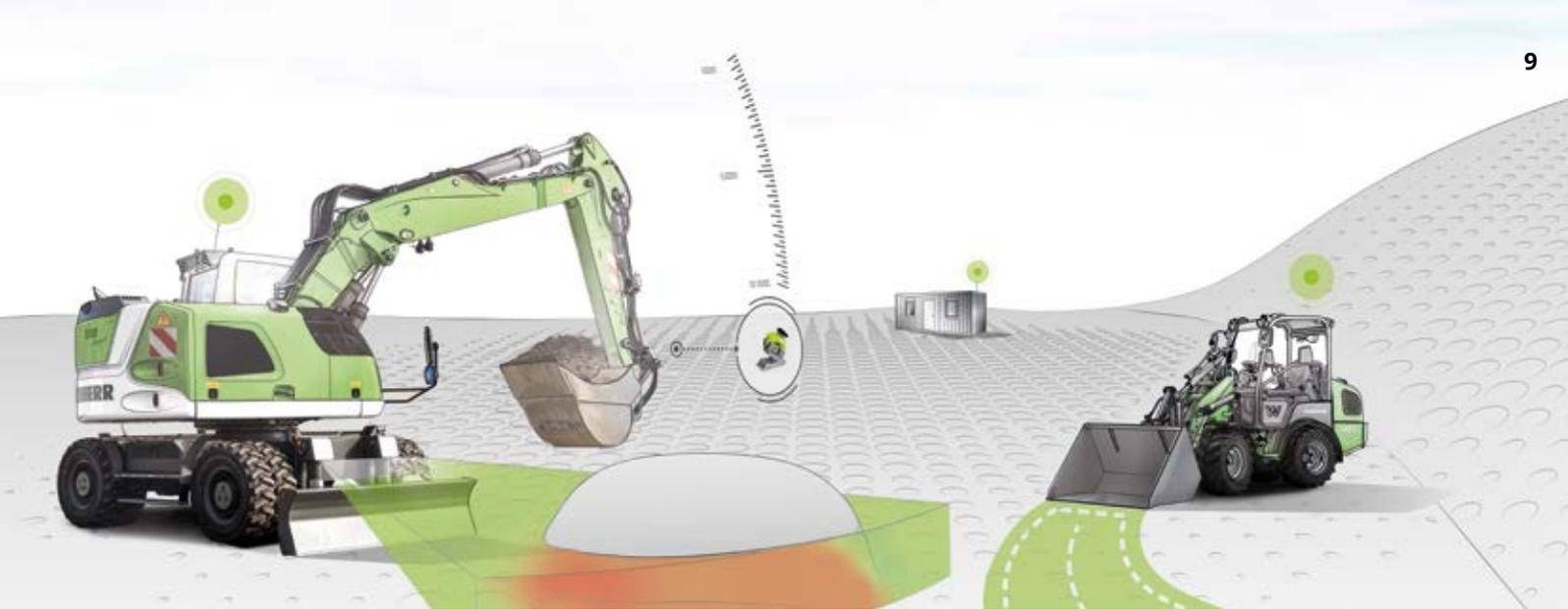
Das Baustellenleitsystem mit seiner Controller- und Viewer-Komponente stellt auf der digitalen Baustelle das zentrale Bindeglied dar. Es sammelt und bearbeitet maschinelle Sensor- und Auftragsdaten, Topografie-, räumliche Positions- und fachliche Daten und stellt diese Daten für verschiedene Clients bereit.

Der **Controller** bildet die Basis zur Überwachung und Organisation der Baustelle. Er verbindet diverse Maschinen auf der Baustelle und fragt Zustände, Aufträge und Werkzeuge der Maschinen ab. Zudem nimmt der Controller Aufträge als Input aus einem externen System entgegen und leitet sie an die entsprechende Maschine weiter. Dazu zählen auch Tracking-Daten von der Maschine, die an andere externe Systeme weitergegeben werden.

Der **Viewer** dient zur visuellen Verortung von Baumaschinen, für die er die entsprechenden Live-Zustände darstellt. So zeigt er die vorhandenen Rahmenbedingungen, wie z.B. verbotene Zonen und Fahrwege, und visualisiert sie auf dem entsprechenden Geländemodell. Der Viewer entnimmt Baumaschinen-Informationen direkt von der Maschine und macht sie für die Nutzenden optisch sichtbar. Er ermöglicht das Einholen von Informationen zu Baumaterialien (Zustand, Beschreibung, Ort) von einem externen System, an das auch Maschinendaten weitergeleitet werden können.

**Kontakt: N+P Informationssysteme GmbH**

**Marco Vogel** · E-Mail: mvogel@nupis.de · Telefon: 03764 4000-709



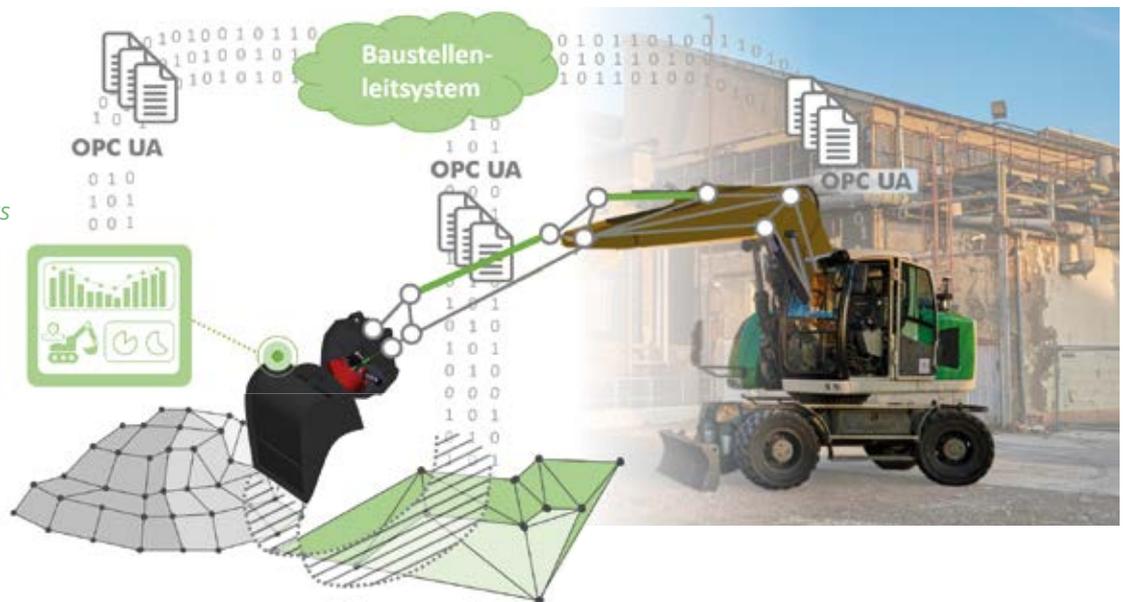
# Automatisierbare, vernetzte Arbeitsmaschinen

# Mobilbagger

mit innovativen Automatisierungsfunktionen  
und Maschinenservices



*Verknüpfung des Mobilbaggers  
mit dem Baustellenleitsystem*



Die neuen Automatisierungsfunktionen zielen auf eine effiziente Maschinenansteuerung, digitale Aufgabenplanung sowie eine Baufortschrittsüberwachung in Echtzeit ab.

**Maschinenansteuerung:** Hierzu wurde eine Positionsregelung der einzelnen Aktoren sowie des Tool Center Points (TCP) über herkömmliche HMI (Joystick) und eine separate Automatisierungsschnittstelle umgesetzt.

**Aufgabenplanung:** Sie beinhaltet die Planung von Zieltrajektorien zur automatisierten Bearbeitung von Erdbewegungsarbeiten anhand digitaler Arbeitsaufträge.

**Baufortschrittsüberwachung:** Mittels Umfeldsensorik und eines automatisierten Abgleichs mit Zielvorgaben kann der aktuelle Arbeitsstand (As-built-Zustand von Grabaufgaben) in Echtzeit erfasst werden.

Neue Maschinenservices schaffen Transparenz für den Betrieb und die Wartung.

**Maschinensicherheit:** Der Maschinenzustand und die Arbeitshydraulik werden kontinuierlich überwacht – im Fehlerfall erfolgt eine automatische Benachrichtigung des Baustellenleitsystems.

**Aufgabenmanagement:** Das System verwaltet die zu erledigenden Arbeitsaufträge im LandXML-Format und die dazugehörigen Ergebnisdaten.

**Fernwartung:** Die Bereitstellung von Telematikdaten entsprechend dem ISO-Standard 15143-3 sowie zusätzlicher, für das Flottenmanagement relevanter Informationen ermöglicht eine Fernwartung.

**Kontakt:** TU Dresden · Professur für Fluid-Mechatronische Systemtechnik

Simon Köhler · E-Mail: simon.koehler1@tu-dresden.de · Telefon: 0351 463-34558

Denis Ritz · E-Mail: denis.ritz@tu-dresden.de · Telefon: 0351 463-32541

**Kontakt:** Liebherr-Hydraulikbagger GmbH

Lisa Bacher · E-Mail: lisa.bacher@liebherr.com · Telefon: 07354 80-6370

# Radlader

## Entwicklungspotenzial durch Automatisierung und Vernetzung



**Das Radladerprojektteam von Wacker Neuson und Bosch Rexroth fokussierte sich auf folgende Aspekte:**

### **Lokale Pfadplanung mit Umfelderkennung durch Lidar und GPS**

Automationsfunktionen wie die Trajektorienplanung bzw. die lokale Pfadplanung mit integrierter Umfelderkennung mittels Lidar-Technologie und GPS sind auf Basis von Untersuchungen zur Fahrtriebssteuerung entwickelt worden.

### **Optimierung der Maschinenarchitektur**

Die Automation stellt neue Anforderungen an die Ansteuerung von Fahrtrieb und Lenkung, die eine Anpassung der Maschinenarchitektur erfordern.

### **Integration in das Baustellenleitsystem**

Vernetzungslösungen ermöglichen die Integration der Maschine in das Baustellenleitsystem. Die Datenkommunikation vom Radlader zum Baustellenleitsystem sowie die Arbeitsauftragsübermittlung vom Baustellenleitsystem zum Radlader erfolgen auf Basis von OPC UA.

### **Entwicklungsbedarf bei automatisierten Fahrerassistenzsystemen**

Während eine Reihe von Fahrerassistenzsystemen im Automationslevel 1 und 2 bereits als fertig integrierbare Lösungen angeboten werden, sind Serienlösungen im Level 3 und 4 – wie z.B. für die Objekterkennung für die oft undefinierte Baustellenumgebung – kaum verfügbar. Die Level-Angaben beziehen sich auf die Norm SAE J3016, in der das höchste Level 5 einem vollautomatischen Fahrsystem entspricht.



**Kontakt: Wacker Neuson SE**

**Martin Mothes** · E-Mail: martin.mothes@wackerneuson.com · Telefon: +43 7221 63000-3271

**Kontakt: Bosch Rexroth AG**

**Wilfried Eichner** · E-Mail: wilfried.eichner@boschrexroth.de · Telefon: 07451 92-1334

# Ladekran

mit optimierter Pfadplanung und Datenvisualisierung in Echtzeit



Der automatisierte Ladekran ist in der Lage, vorgegebene Arbeitsaufgaben effizient auszuführen. Die standardisierte ISOBUS-Schnittstelle sowie der OPC-UA-Server auf der Telematik-Einheit stellen eine interoperable Lösung für die Vernetzung von Baumaschinen dar. Dadurch werden folgende Innovationen ermöglicht:

## Aufgabenplanung

Start- und Zielkoordinaten sowie Zwischenpunkte und Sperrbereiche können über eine offene Schnittstelle zur Verfügung gestellt und somit die optimale Kranbewegung berechnet werden.

## Kranbewegung

Im Gegensatz zur manuellen Bewegungssteuerung werden spezifische Eigenschaften der Geometrie, Verfahrgeschwindigkeiten und die Belastbarkeit der Einzelachsen für eine Bahnoptimierung berücksichtigt.

## Baurobotik

Durch die Automatisierungsfunktion wird der Kran zum Großraummanipulator. Die Kranspitze lässt sich kartesisch präzise verfahren, sodass innovative Bedienkonzepte, wie z.B. die inverse Steuerung an einer Fassade beim Einsatz mit Personenkorb, möglich sind.

## Echtzeitdatenschnittstelle

Mittels OPC UA lassen sich allgemeine Betriebsdaten sowie kran-spezifische Leistungsdaten übermitteln. Zudem bietet sich dadurch die Möglichkeit zur Echtzeitvisualisierung der Kinematik.



**Kontakt:** TU Dresden · Professur für Baumaschinen

**Dr. Volker Waurich** · E-Mail: volker.waurich@tu-dresden.de · Telefon: 0351 463 39278

**Kontakt:** Hermann Paus Maschinenfabrik GmbH

**Andreas Bitter** · E-Mail: abitter@paus.de · Telefon: 05903 707-561

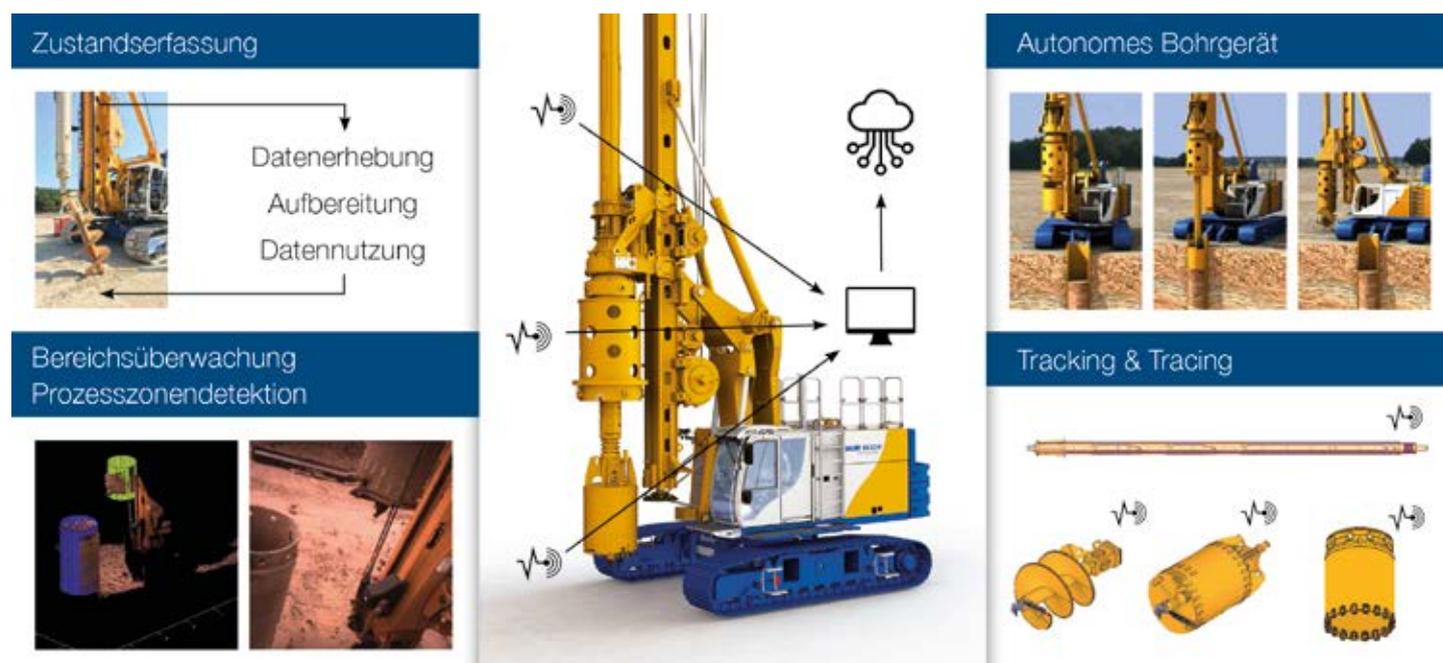
# Drehbohrgerät

mit standardisierten und automatisierten Abläufen für höhere Qualität und Produktivität

**Um im Spezialtiefbau eine hohe Produktqualität und Produktivität sicherzustellen, müssen die vom Menschen zu bearbeitenden, sich wiederholenden Tätigkeiten möglichst gleich ausgeführt werden.**

Ein Beispiel hierfür ist der Kellybohrprozess, der in einzelne repetitive, aufeinander folgende Prozessschritte mit definierten Maschinenzuständen aufgeteilt und automatisiert ist. Eine teleskopierbare Stange (Kelly) sorgt für das Heben und Senken des Bohrwerkzeugs im Bohrloch – in Bauen 4.0 wird dieser Vorgang automatisiert durch den adaptiven Kellyeinfahrassistenten durchgeführt. Mit den vom Fahrpersonal oder von einem Baustellenleitsystem vorgegebenen Bohrparametern folgt das Bohren. Durch diesen standardisierten Pro-

duktionsprozess kann das Fahrpersonal von der operativen in eine überwachende Funktion wechseln. So werden neben der Produktqualität und der Produktivität vor allem auch die Prozesssicherheit und die Wiederholgenauigkeit verbessert – der Arbeitsplatz des Geräteführenden wird damit erheblich aufgewertet. Ein Ausrüstungsmanagementsystem und eine Prozesszustandsdetektion stellen die Grundlage für diese Automatisierung dar. Das Trägergerät und die einzelnen Ausrüstungskomponenten erkennen ihren aktuellen Prozesszustand und melden diesen an ein übergeordnetes System (z.B. ein Baustellenleitsystem) weiter. So entsteht im cloud-basierten Baustellenleitsystem ein digitaler Zwilling des gesamten Bohrprozesses, der seine relevanten Prozessparameter vom Bedienenden oder cloudgestützt erhält.



**Kontakt: BAUER Maschinen GmbH**

**Dr. Matthias Semel** · E-Mail: [matthias.semel@bauer.de](mailto:matthias.semel@bauer.de) · Telefon: 08252 97-2329

# Condition Monitoring System

## Optimierung der Maschinenverfügbarkeit durch Schadensfrüherkennung im Hydrauliksystem

Von den Hydraulikkomponenten einer mobilen Arbeitsmaschine wird erwartet, dass sie ein Maschinenleben lang funktionieren. Ein Wechsel ist in der Regel nicht vorgesehen. Die Danfoss Hydrostatik, z.B. mit den H1- und D1P-Hydrostaten, erfüllt diese Voraussetzungen erwiesenermaßen. Aber es können auch in solchen Hydrauliksystemen ungeplante Konditionen oder Betriebsbedingungen eintreten, die zu Schäden führen. Das Condition Monitoring dient zur kontinuierlichen Überwachung und Beurteilung der Folgen, die dadurch entstehen können.

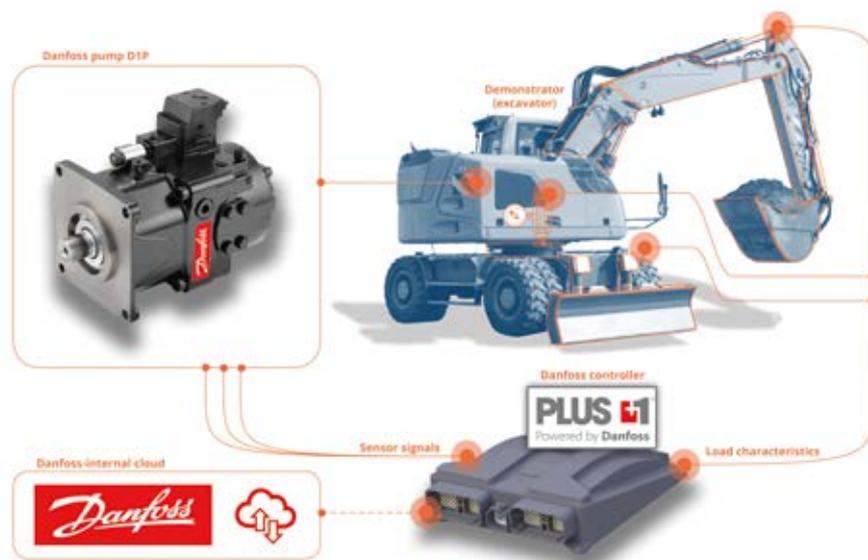
Mit dem Condition Monitoring können Schäden antizipiert werden, die aus unerwünschten Zuständen wie z.B. Kontamination, Missbrauch, Betrieb außerhalb der Betriebsbedingungen (z.B. zu heißes Öl) folgen können, noch bevor die entsprechende Komponente ausgefallen ist. Damit lassen sich ungeplante Stillstände vermeiden und die Maschinenverfügbarkeit erhöhen.

Das Condition Monitoring bildet damit eine essenzielle Grundlage für die Wartung 4.0. Diese bedarfsorientierte Wartung sowie darauf aufbauende Maschinen- und Flottenmanagement-Strategien sorgen für eine Reduzierung der Betriebskosten. Das Condition Monitoring ist zudem die Basis für weitere digitale Services und Automatisierungen.

### Bestandteile des Danfoss Condition Monitorings

Die Restlebensdauerbestimmung ermittelt für jede Maschine individuell die verbleibende Lebensdauer der Komponenten und ermöglicht so eine optimale Einsatzplanung der Maschine. Das leistungsorientierte und sensorgestützte Monitoring analysiert das Betriebsverhalten des Hydrauliksystems und seiner Komponenten zum Zweck der Schadensfrüherkennung auf multiple Weise und kommuniziert die Analyseergebnisse an das Maschinenbedienpersonal und an die Cloud per optionalem Plus+1 Telematics Modul.

*Condition Monitoring:  
Demonstrationssystem  
für Bauen 4.0*



**Kontakt:** Danfoss Power Solutions GmbH & Co. OHG

Dr. Andreas Schumacher · E-Mail: [aschumacher@danfoss.com](mailto:aschumacher@danfoss.com) · Telefon: 04321 871-507

# Systemsimulation

als zentrales Tool zur Digitalisierung von Bauprozessen

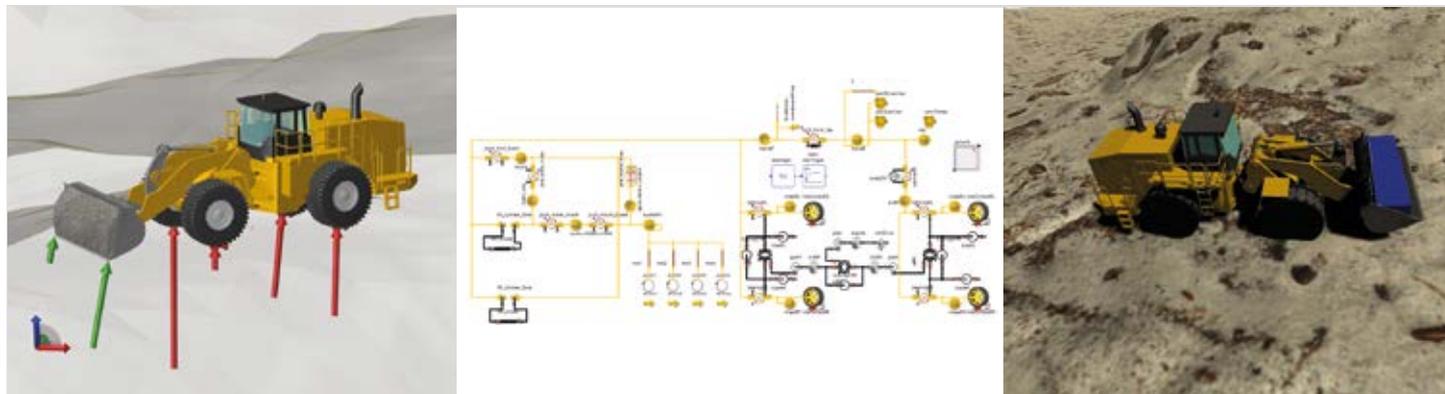
Das Systemsimulationstool SimulationX wird im Kontext der Baumaschinen für folgende Anwendungsbereiche eingesetzt: Verifikation und Test von Automatisierungsfunktionen, Untersuchungen zu Betriebskomfort (Vibrationsanalyse) und -sicherheit (Fahrdynamik, Kippsicherheit) sowie – während des Betriebs – als digitaler Zwilling des Realsystems. Um möglichst viele Automatisierungs- und Betriebs-szenarien abzudecken, müssen SimulationX-Modelle mit der Umgebung interagieren.

SimulationX ist ein Tool zur Simulation multiphysikalischer Modelle. Dieser Modellierungsansatz ermöglicht die Simulation komplexer Systeme und damit die Analyse des Systemverhaltens anhand eines einzigen Modells. Durch Schnittstellen und Exportmöglichkeiten lassen sich SimulationX-Modelle in Simulationskopplungen oder Echtzeitsimulationen einbinden. In Bauen 4.0 wurde an der Interaktion von Fahrzeugmodellen mit der Umgebung gearbeitet, da dies im Baustellenkontext für die Entwicklung und für Automatisierungstests notwendig ist.

Es entstanden:

- eine Bibliothek zur Modellierung unebenen Untergrunds und zur Kontaktdetektion mit diesem
- ein Reifenmodell, das auf diesem Untergrund fahren kann
- Schnittstellen zu etablierten Reifenkontaktmodellen: FTire, Simcenter Tire
- eine DDS(Data Distribution Service)-Schnittstelle zur Kommunikation, z.B. mit der 3D-Engine Unity, um dort die Umgebung, andere Agenten oder die virtuelle Sensorik abzubilden

Ein weiteres Projektziel bestand in der Umsetzung eines digitalen Zwillings zur Zustandsüberwachung eines Baufahrzeugs. Das Systemmodell des Mobilbaggers verarbeitet dazu dessen Steuer- und Messdaten, ermittelt Abweichungen zum Nominalverhalten und gibt Warnungen an das Baustellenleitsystem aus.



Simulation eines Radladers: Visualisierung der Kräfte auf Räder und Schaufel in SimulationX (links); Strukturansicht des Modells in SimulationX (Mitte); Visualisierung in der Unity-Umgebung (rechts)

**Kontakt:** ESI Germany GmbH

Dr. Julia Gundermann · E-Mail: julia.gundermann@esi-group.com · Telefon: 0351 260-50240

# Automatisierungsgerechte Antriebstechnik

## Intelligente Vorsteuerstufe mit neuartigen Industrie-4.0-Maschinendiensten

Der Elektrohydraulische Aktuator (EHA) von Thomas ist eine kompakte, elektrohydraulische Vorsteuerstufe. Er bildet die Schnittstelle zwischen der zentralen Informationsverarbeitung und der leistungsbehafteten Ventilsteuerung. Im Rahmen des Projekts entstand eine neue Generation des EHA mit moderner Elektronik, schnellem Dual-Core-Prozessor und verbesserter Software. Die integrierte On-Board-Elektronik und die redundante Wegesensorik sorgen für eine schnelle und präzise Regelung des Ventilschiebers. Zudem wurde ein hochdynamisches Pilotventil in „Cartridge“-loser Bauweise (Integrated Pilot Head) entwickelt, welches durch eine geringe Hysterese, hohe Präzision und niedrige Leckage gekennzeichnet ist.

### Basis für neue Assistenzfunktionen in Baumaschinen

Der EHA stellt verschiedene Maschinendienste zur Verfügung. Beispielsweise passt eine automatische Selbstadaption die Softwareparameter selbstständig an die Eigenschaften des Kundensystems an. Aktuelle Informationen des Komponentenzustandes können über die Maschinensteuerung und das 5G-Netz auch an Akteure außerhalb der klassischen Maschinengrenze übertragen werden. Die Vorsteuerstufe ist zudem für den Einsatz in sicherheitsrelevanten Applikationen geeignet. Damit schafft diese neue EHA-Generation verbesserte Bedingungen für Assistenzsysteme in mobilen Maschinen, die das Bedienpersonal im Umgang mit komplexen Systemen unterstützen.



*Elektrohydraulischer Aktuator*



*Hochdynamisches Pilotventil*

# Umfelderkennung

mithilfe von Triangulation und der Digitalisierung von Objekten auf dem Baufeld

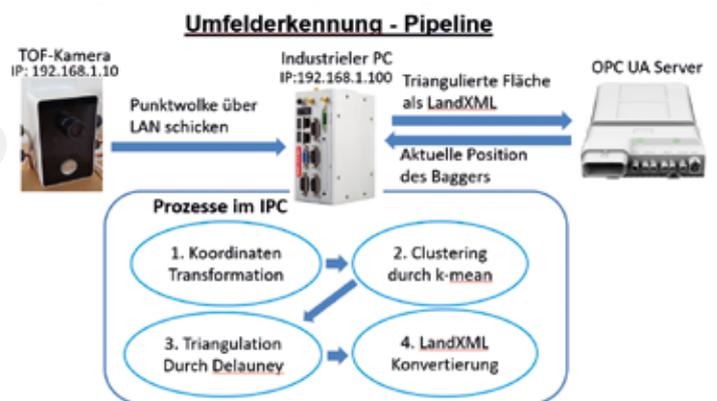
Die Umfelderkennung beinhaltet die Digitalisierung des Umfelds und dessen wirklichkeitsgetreue Wiedergabe mithilfe digitaler Daten. Sie ermöglicht eine Analyse der Umgebung – so lassen sich beispielsweise das Volumen der Feld-Objekte und deren geografische Position bestimmen.

Bei der Umfelderkennung kommen folgende Algorithmen und Geräte zum Einsatz:

1. 3-D-Kamerasysteme auf Basis des Laufzeitverfahrens (Time-of-Flight) zur Erzeugung der Punktwolke
2. Industrie-PC (IPC), um Algorithmen auszuführen
3. Abbildung der Punktwolke im Weltkoordinatensystem
4. Segmentierung der abgebildeten Punktwolke durch den k-Means-Algorithmus in verschiedene Objekte
5. Triangulation jedes Objekts durch die Delaunay-Triangulierung
6. Konvertierung der triangulierten Objekte in ein LandXML-Format
7. Transfer der LandXML-Daten zum OPC-UA-Server

Im Rahmen eines Anwendungsszenario hat die auf dem Bauen-4.0-Mobilbagger installierte Umfelderkennung folgende Aufgaben ausgeführt:

1. Messung des Volumens der vom Bagger gegrabenen Löcher
2. Erkennen der Hügel auf dem Baufeld, um auszuweichen oder diese zu erreichen
3. Einbau der 3-D-Modelle des Baufelds in das Weltkoordinatensystem



# Navigationssystem und App-Plattform

für den gesamten Bereich der digitalen Bauausführung



Das **Navigationssystem** ist das Kernstück der 3-D-Maschinensteuerung. Es ermöglicht die Navigation von assistierten, teilautomatisierten oder autonomen Baggern mittels GNSS (Global Navigation Satellite System). Zudem bindet es Anbaugeräte wie den Anbauverdichter „MTS V8 EVA“ mit Verdichtungskontrollsystem oder MTS-Tiltrotatoren direkt ein. Das System stellt Planungsdaten für die Bauausführung zur Verfügung und ermöglicht die Aufnahme von As-Built-Daten, z.B. in Bezug auf Rohrleitungen oder Bodenmaterialien.

Der **CPX-Terminal** ist eine App-Plattform für den Bagger. Mithilfe der App DynamicScale ist es möglich, das Gewicht im Löffel zu messen. Die Fencing-App errichtet einen virtuellen Zaun um den Bagger und warnt vor dem Verlassen eines festgelegten Arbeitsraums. Das Arbeiten zu erleichtern – das ist das Ziel von GradeAssist. Mit dieser App kann der Fahrer oder die Fahrerin Gefälle errichten oder Abstände messen, ohne dafür aussteigen zu müssen. ToolManagement bietet eine Übersicht über alle gespeicherten Anbaugeräte und ermöglicht eine Kommunikation mit diesen.

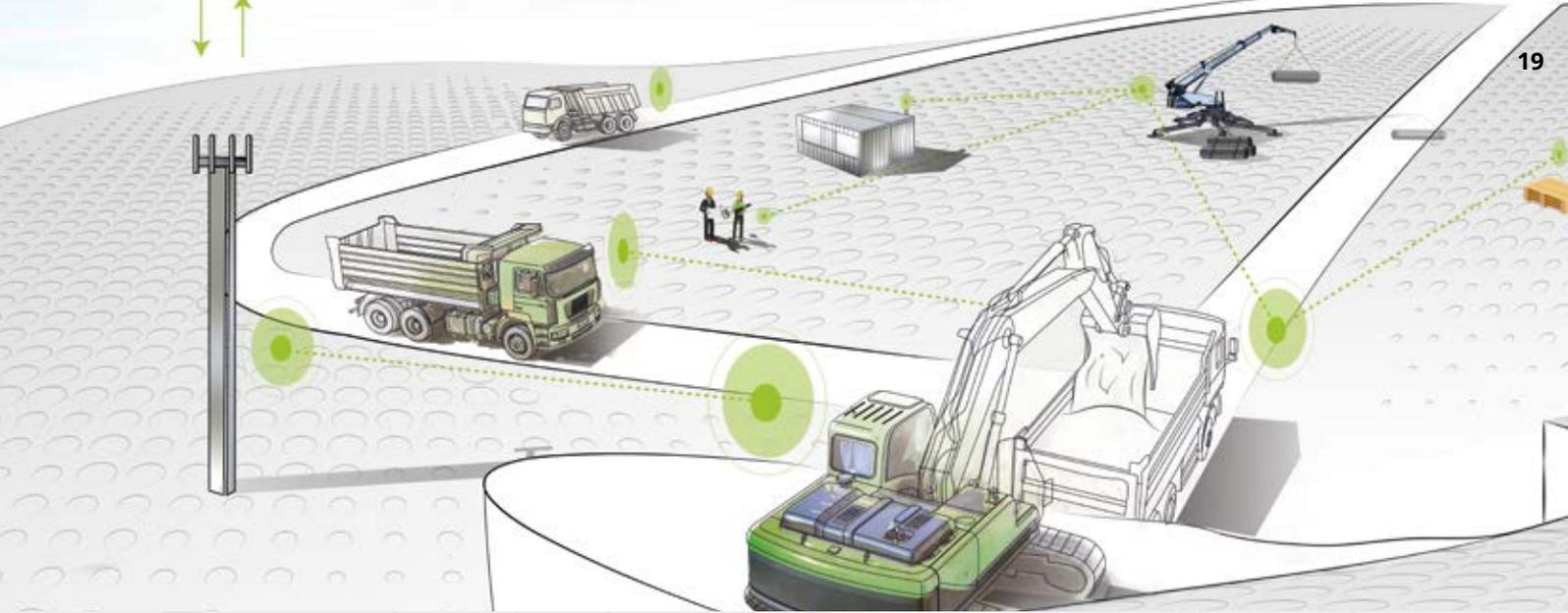


**Kontakt: Vemcon GmbH**

**Michael Wagner** · E-Mail: [m.wagner@vemcon.de](mailto:m.wagner@vemcon.de) · Telefon: 089 215411-054

**Kontakt: Maschinentechnik Schrode AG**

**Ulrike Nohlen** · E-Mail: [entwicklung@mts-online.de](mailto:entwicklung@mts-online.de) · Telefon: 07386 9792-0



# 5G-Maschinen- und Baustellenvernetzung

# Connectivity-Modul

für zuverlässigen Datenaustausch zwischen Maschinen und Baustellenleitsystem

Der zuverlässige Datenaustausch zwischen Mensch und Maschine bildet die Grundlage für die Digitalisierung und Automatisierung von Baustellen. Dieser wird durch ein zuverlässiges, latenzarmes und niedriglatentes Kommunikationssystem erreicht. Im Rahmen des Projekts wurde ein Multi-Technologie-Konnektivitätsmodul als Endgerät für die Datenübertragung zwischen Maschine und Baustellenleitsystem entwickelt. Das Modul kann über USB, CAN oder Ethernet einfach in die Maschine integriert werden und besteht aus folgenden Komponenten:



## Funktechnologien

- Ein Modem basierend auf 5G NR (New Radio) SA (Standalone) bzw. 5G NSA (Non-Standalone) erlaubt den Zugriff auf alle Ausbaustufen von öffentlichen und privaten Mobilfunknetzen (SA/NSA).
- Wenn kein 5G verfügbar ist, kann 3G/4G als Fallback-Lösung genutzt werden.
- Zwei WLAN-Interfaces mit den Funkstandards a, b, g und n erlauben den redundanten Betrieb und erhöhen damit die Zuverlässigkeit der Datenübertragung.
- Die integrierte VPN-Lösung ermöglicht den transparenten, redundanten Betrieb von 5G und WLAN (Multi-RAT – Multiple Radio Access Technology).

## Compute Platform

- Ein Linux System auf einer leistungsfähigen, weitverbreiteten ARM (Advanced RISC Machines) Plattform (iMX6) erleichtert die Entwicklung und Nutzung anwendungsspezifischer Software.
- Zentrale Komponente ist ein OPC-UA-Server, der die Datenübertragung zwischen Maschine und Baustellenleitsystem realisiert.

## Globale Positionierungssysteme

- Das Modul kann mit allen globalen Systemen (GPS/GLO-NASS/Galileo/Beidou) arbeiten.

# Cloud Connectivity

## auf Basis eines 5G-Campusnetzwerks

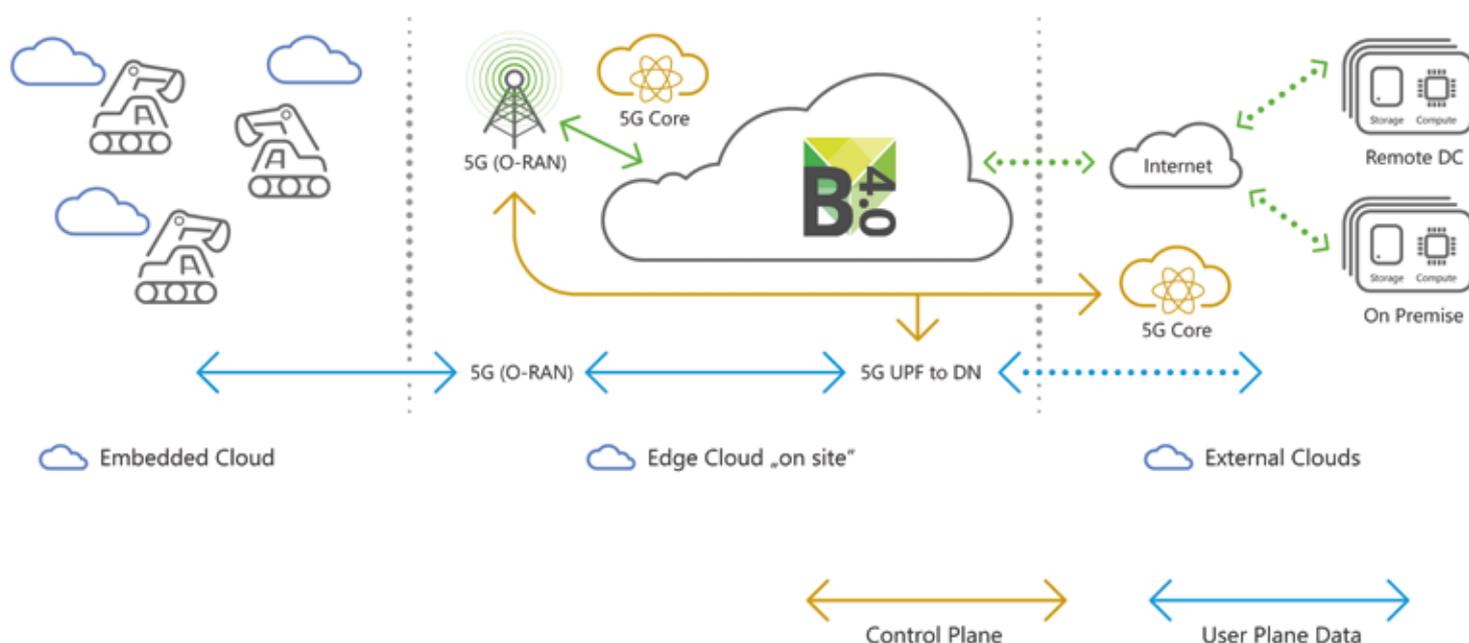


**Für die Speicherung und den Austausch von Daten zwischen den Baumaschinen wurde eine zuverlässige lokale Cloud-Lösung entwickelt.**

Die Basis dafür liefert ein 5G-Campusnetzwerk mit dem CampusGenius 5G-SA Core, das für den Einsatz auf der Baustelle angepasst und um eine eigene Baustellen-Cloud-Umgebung erweitert wurde. Der Aufbau ermöglicht den Übergang in ein öffentliches 5G-Netz und somit auch die Anbindung an das öffentliche Internet. Anwendungen lassen sich lokal in der Baustellen-Cloud mit definierten QoS(Quality of Service)-Parametern in virtuellen Maschinen ausführen.

Auf dieser Netzwerkplattform wurde ein sicherer und verteilter Cloud-Speicher erstellt. Er ermöglicht jeder Baumaschine, eine eigene kleine Cloud („Flurry“) zu erzeugen, die den Austausch von Daten mittels einer zentralen Instanz (Autorität) erlaubt. Die Autorität ist gegenüber den Dateninhalten neutral und unabhängig, sodass diese zwischen den Partnern beliebig ausgetauscht werden können.

Über die Nutzung auf der Baustelle hinaus kann der Einsatz dieser neuentwickelten Technologien auch in anderen Bereichen gewinnbringend sein – nämlich dort, wo ein sicheres und zuverlässiges lokales Netzwerk notwendig ist und zudem eine Nutzung von Ressourcen außerhalb dieses Netzwerks möglich sein soll.



**Kontakt: acticom GmbH**

**Gerrit Schulte** · E-Mail: gerrit.schulte@acticom.de · Telefon: 0160 96890345

**Kontakt: O&O Software GmbH**

**Olaf Kehrer** · E-Mail: olaf.kehrer@oo-software.com · Telefon: 030 9919162-00

# 5G-Campusnetzwerke

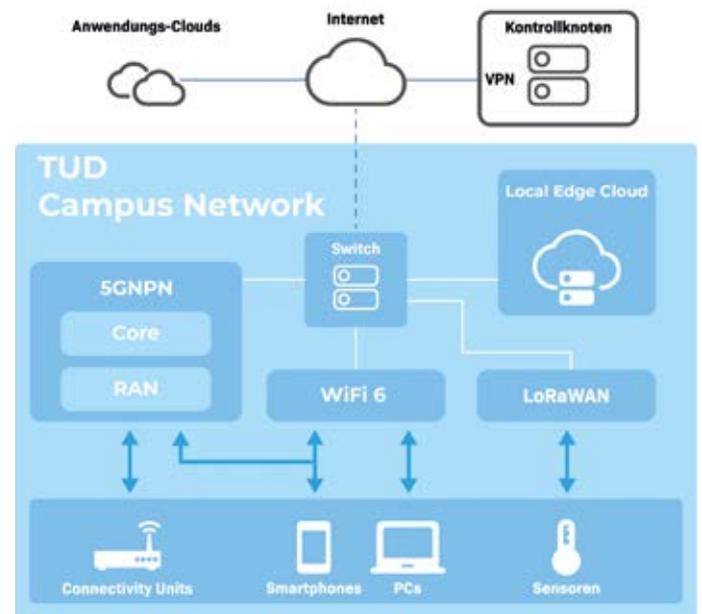
für eine mobile, robuste und echtzeitfähige 5G-Infrastruktur auf der Baustelle

Das 5G Lab Germany Forschungsfeld Lausitz (5GFoLa) arbeitet in seinem Erprobungsschwerpunkt „5G Bauen“ in Kooperation mit Bauen 4.0 an Vernetzungslösungen, die die sichere Bedienung, Koordination und Überwachung von Baumaschinen im Betrieb gewährleisten sollen – potenziell aus Entfernungen von mehreren Hundert Kilometern. Dabei muss sowohl den dynamischen Entwicklungen auf einer Baustelle (speziell durch Tief- und Hochbau) als auch dem temporären Charakter (z.B. Tagesbaustelle) Rechnung getragen werden. Die Lösung sollte also schnell installiert, in Betrieb genommen, wieder abgebaut und versetzt werden können.

## Lokale Datenverarbeitung mit minimalen Reaktionszeiten

Im Rahmen von 5GFoLa entwickelte die TU Dresden das Konzept eines portablen Campusnetzes: eine versetzbare, für robuste Umgebungen optimierte 5G-Infrastruktur, die eine Baustelle kontinuierlich mit einem echtzeit- und leistungsfähigen Mobilfunknetz versorgt und Baumaschinen vernetzt, die mit über Bauen 4.0 entwickelte 5G-Connectivity Units ausgestattet sind. Erweitert um die Funktechnologien WLAN und LoRaWAN, vergrößert sich die Spannbreite der unterstützten Endgeräte für alltägliche IT-Aufgaben und Sensorik. Integriert ist ein Edge-Cloud-Server, der die verschiedenen Datenströme aller angeschlossenen Geräte zusammenführt, lokal verarbeitet und somit Reaktionszeiten (Latenzen) des Netzes minimieren kann. Abgesicherte Internetanbindungen für die Fernhantierung bzw. für den Zugriff auf zentrale Cloud-Server erfolgen über ein vor Ort vorhandenes Kabelnetz oder drahtlos über öffentlich verfügbare Netze.

Für die Anpassung eines Campusnetzes, die mit jedem Bauabschnitt aufgrund der sich verändernden Umgebungsbedingungen erforderlich sein kann, sieht 5GFoLa den Einsatz von Drohnen vor, um den Baufortschritt kameragestützt zu überwachen und die Erkenntnisse in einen automatisierten Optimierungsprozess zu überführen. Potenziell können Drohnen auch als Relais zur temporären Erweiterung des Mobilfunknetzes eingesetzt werden.



Übersicht über das 5G-Campusnetzwerk

Eine Campusnetzlösung mit funkgestützter Internetanbindung wurde auf dem Gelände der Versorgungsbetriebe Hoyerswerda in einem Baucontainer und zugehöriger Antennenmastkonstruktion errichtet. Die Versorgung des Geländes erfolgt bis zum Projektabschluss Ende 2022.



## Auf einen Blick

### • Portables Campusnetz

Das im 5G Lab Germany Forschungsfeld Lausitz (5GFoLa) der TU Dresden entwickelte Konzept eines portablen Campusnetzes ist auf die Anforderung einer Baustelle zugeschnitten. Die in einem Baucontainer enthaltene Komplettlösung kann innerhalb kürzester Zeit auf-/abgebaut und per Lkw-Transport zu einem anderen Einsatzort befördert werden. Das „mitwandernde private Netz“ bietet eine Funkversorgung mit hoher Zuverlässigkeit und zugesicherten Kapazitätseigenschaften unabhängig von der Versorgung durch öffentliche Netzbetreiber.

### • Dedizierte Baustellenlizenz

Im Jahr 2019 wurde der Frequenzbereich von 3,7 bis 3,8 GHz für den privaten Mobilfunk bereitgestellt und damit die Weichen für den Markt für Campusnetze gestellt. Schnell wurde das Potenzial hochperformanter, breitbandiger und sicherer Funknetze für weitere Bereiche entdeckt – darunter Forschungseinrichtungen, Landwirtschaft und Bauen. 5GFoLa verwendet in seiner Campusnetzlösung diesen Frequenzbereich für die 5G-Funkschnittstelle und kümmert sich um das Vergabeverfahren und die Genehmigungen für den Einsatz an den Erprobungsorten.

### • Fernsteuerung von Maschinen in Echtzeit

Für eine Campusnetzlösung setzte FoLa von Anfang an darauf, Kommunikationsdienste in Echtzeit für eine Vielzahl an Endgeräten zu bieten. Die dazu erforderlichen deterministischen Latenzzeiten von 10 ms oder weniger sind nur mit 5G Standalone möglich, d.h., sowohl das Funkzugangsnetz (RAN) als auch die Kernkomponenten (Core) müssen dem neuen Standard entsprechen. Die zwischenzeitlichen Lösungen, die auf einem LTE-Core mit 5G RAN aufbauten (5G Non-Standalone), sind für zeitkritische Anwendungen wie die Fernsteuerung von komplexen Maschinen nicht geeignet.





#### • **Multi-Konnektivität**

Die Bereitstellung mehrerer Funktechnologien (5G, WLAN, LoRaWAN) erlaubt die diskriminierungsfreie Integration herstellerübergreifender Systemlösungen, die sich aufgrund fehlender Industriestandards mit einer Breite an technischen Umsetzungen entwickelt haben. Zudem werden in 5GFoLa und Bauen 4.0 Ansätze zur gleichzeitigen Nutzung verschiedener Übertragungskanäle erprobt, die die Zuverlässigkeit erhöhen und Resilienz bei der Dynamik auf einer Baustelle bieten. Kurzfristig können auch bestehende Lösungen zu Maschine-zu-Maschine(M2M)-Kommunikation (z.B. V2X aus der Automobiltechnik) in Campusnetzen integriert werden, um eine Direktkommunikation von Baumaschinen untereinander zu ermöglichen.

#### • **Lokale Datenhaltung (Local Edge Cloud)**

In der integrierten Edge Cloud werden die Datenströme der verschiedenen Funktechnologien zusammengeführt, ohne dass sie die Baustelle verlassen müssen (Privatheit der Daten). Dabei lassen sich massiv hohe Datenaufkommen bewältigen – zudem sind Big-Data-Analysen sowie der Einsatz von Machine-Learning-Tools möglich. Anwendungen verschiedener Systemhersteller können selbst bei fehlender Kompatibilität untereinander auf dem System gehostet werden. Eine einfache Skalierung der Ressourcen sowie die Implementierung von DevOps-Prinzipien werden durch die Virtualisierung der Applikationsserver ermöglicht. Als Folge lassen sich Produktions- und Baustellenabläufe transparenter, optimiert und (kosten-)effizienter gestalten.

#### • **Geschützter Backlink ins Internet (Edge Cloud)**

Das von 5GFoLa konzipierte 5G-Campusnetz bietet den Zugang ins Internet als mögliche Option. So lassen sich Anwendungen wie die Fernhandlung von Baumaschinen oder die Anbindung eines Baustellennetzes an eine zentrale IT-Infrastruktur realisieren. Der Anschluss auf der Baustelle kann dabei, sofern vorhanden, über das vor Ort vorhandene Kabelnetz oder drahtlos über das öffentliche 4G/LTE-Netz erfolgen. Alternativ wird auch eine Satellitenkommunikation angeboten.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

FORSCHUNGSFELD  
**LAUSITZ**



# Prozesse und Lösungen für die digitale Baustelle

# Prozesssimulation

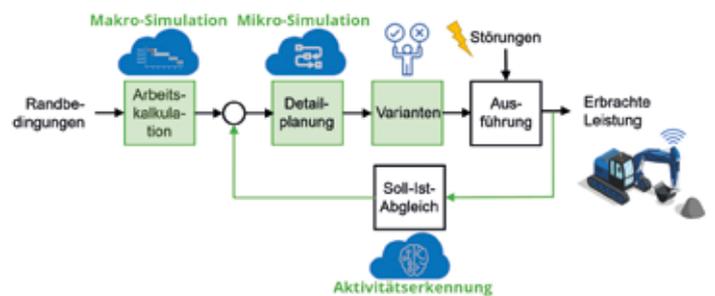
## zur digitalen Abbildung des gesamten Bauablaufs

Im Angesicht der fortschreitenden Digitalisierung auf der Baustelle ist die Erhebung von Daten und deren Nutzung ein zentrales Thema.

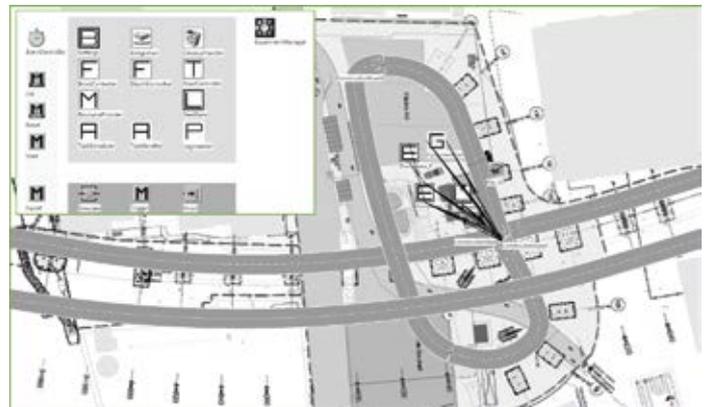
Im Rahmen von Bauen 4.0 konnte mithilfe der Einbindung von aktuellen Maschinendaten in die Prozesssimulation gezeigt werden, wie in Zukunft wichtige Entscheidungen auf Basis eines **digitalen Zwillings** getroffen werden können (siehe Regelkreis).

Um die Anforderungen und den Informationsgehalt in jeder Bauphase zu bedienen, wurde eine mehrstufige modulare Simulationsarchitektur entwickelt, bestehend aus einer **Makro- und Mikrosimulation**: Die Makrosimulation optimiert die Grobterminplanung und die Mikrosimulation bildet die Bauabläufe digital ab, um so verschiedene Alternativszenarien vorab durchzuspielen. Die Simulationsmodelle sind dabei alle über eine SQL-Datenbank miteinander verknüpft. Eine Schnittstelle zu **BIM** ermöglicht den Nutzen von bestehenden Informationen aus BIM-Modellen, gleichzeitig aber auch deren Anreicherung mit Ergebnissen aus der Simulation.

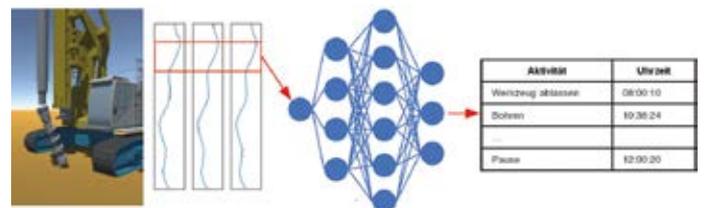
Für die Kommunikation der Simulation mit der Maschine wurde eine **Middleware** auf Basis einer Microservice-Architektur implementiert. Neben der Bereitstellung der Daten ist deren automatisierte Interpretation und Aufbereitung mittels Deep-Learning-Modellen entscheidend: Mithilfe der **Aktivitätserkennung** ist es nicht nur möglich zu wissen, ob die Maschine arbeitet, sondern, woran genau sie arbeitet und wie lange sie für diese Tätigkeit tatsächlich gebraucht hat. Durch die Rückführung dieser Information wird die Simulation prozessbegleitend aktualisiert, um im Störfall als digitaler Zwilling bei der Entscheidungshilfe für die Bauprozessoptimierung zu unterstützen.



Regelkreis für die prozessbegleitende Simulation



Mikrosimulation zur Prozessabbildung



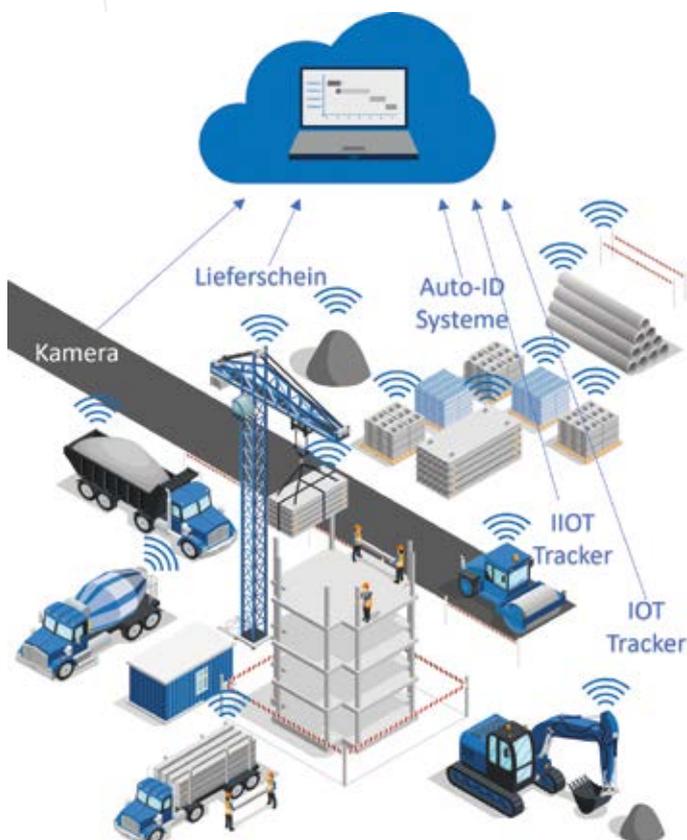
Aktivitätserkennung von Maschinendaten mittels Deep Learning

# Tracking & Tracing

als Basis für durchgängig digitalisierte und effiziente Baustellenabläufe

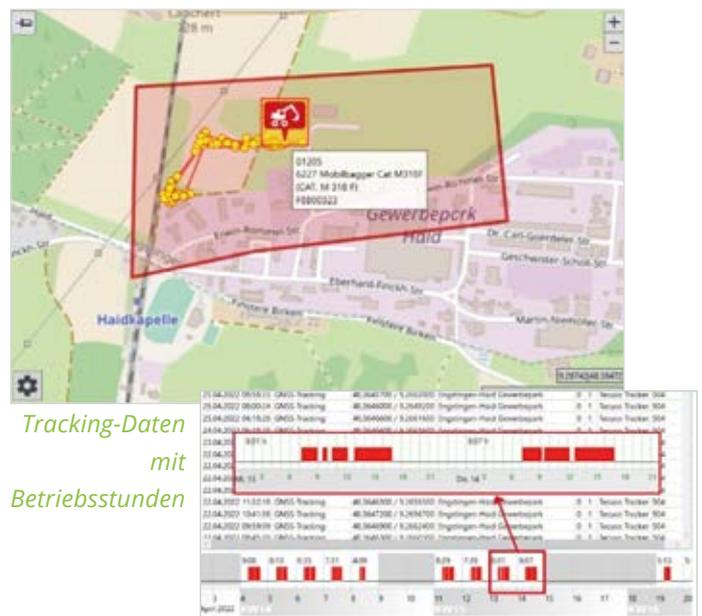
Die Tracking-&Tracing(TaT)-Technologien, die im Verbundprojekt Bauen 4.0 entwickelt wurden, unterstützen den Bauprozess von der Planung und Lieferung des Baumaterials bis zur Erfassung von Schüttgütern.

- **Digitaler Lieferschein:** Unabhängig von Dokumentformaten werden Informationen aus den Lieferscheinen automatisch extrahiert und in der Datenbank gespeichert.



Tracking-&Tracing-Konzept auf der Baustelle 4.0

- **Digitale Methode zur Erfassung der Schüttgüter:** Als Ergänzung zur traditionellen Wiegemethode werden Schüttgüter mithilfe eines Kamerasystems digitalisiert. Mittels eines Machine-Learning-basierten Algorithmus werden die Schüttgutart und das Volumen automatisch ermittelt.
- **Herstellerübergreifender Einsatz von TaT-Technologien:** Die Systemarchitektur ermöglicht die Anbindung der Tracker mit verschiedenen Technologien (Internet of Things IOT, Industrial Internet of Things IIOT) und von unterschiedlichen Herstellern.
- **Aufbaufunktion von TaT-Daten in der Cloud:** Alle Materialflüsse, Hilfsgeräte und die Baugerätschaften vom Bauprojekt werden erfasst und darauf basierend wird die Disposition optimiert.



Tracking-Daten mit Betriebsstunden

# Tracking & Tracing in Action

vom Baustellentracker bis hin zu Kinematikdiensten



Insbesondere auf großen Baustellen ist die Lokalisierung und Überwachung von Werkzeugen ein logistisches Problem. Hier kann der Baustellentracker Abhilfe schaffen.

## Große Auswahl an Hardware

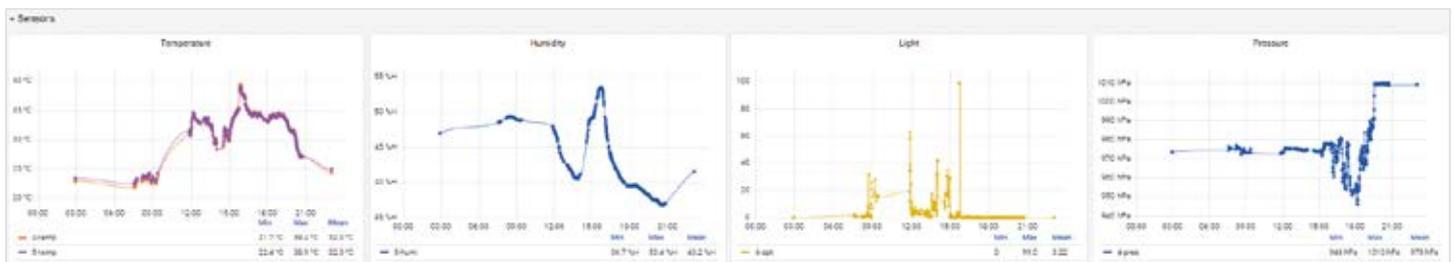
Jeder Baustellentracker hat seine eigenen Merkmale. Der Tracker MTS-Smart erfasst Baugeräte mit QR-Codes und BLE-Tags via Smartphones. Dieser Tooltracker kann die Daten sowohl per Bluetooth („onSite Connectivity“) als auch über das Mobilfunknetz („Cloud Connectivity“) übermitteln. Außerdem können Bewegungsdaten von Anbaugeräten im Feld erkannt und die Position über GNSS-Sensoren ermittelt werden. Der Exelonix-Tracker kann die Betriebszustände mittels Beschleunigungs- und Temperatursensoren überwachen. Zudem gibt es zusätzliche Sensoren für Feuchte, Luftdruck und Licht.

## Vielfältige Anwendungsmöglichkeiten

Die Telematikdienste der Baustellentracker ermöglichen viele Anwendungsszenarien. Die automatisierte Zuordnung von Geräten zu Einsatzorten mit Betriebsstundenerfassung und Abrechnung erleichtert das Geräte- und Flottenmanagement. So wird ein durchgängiger Dispositionsprozess von der Bestellung, Reservierung und Planung bis hin zur Lieferung von Geräten und Maschinen ermöglicht. Durch die automatische Einstellung des Anbaugerätes an den Baugeräten erhalten Baugeräteführende auf der Baustelle wertvolle Unterstützung bei der Ausführung ihrer Aufgaben.



Lokalisierung mithilfe von TaT



Wichtige Parameter für den Bauprozess

**Kontakt: Exelonix GmbH**

Dr. Matthias Stege · E-Mail: [matthias.stege@exelonix.com](mailto:matthias.stege@exelonix.com) · Telefon: 0351 21971444

# Fahrerleitsystem

Projektion von BIM-Daten mittels AR-Datenbrille auf die reale Baustelle



Mithilfe von Augmented Reality (AR) kann die fahrende Person auf wichtige Informationen zugreifen. Das Bauen-4.0-Fahrerleitsystem zeichnet sich durch folgende Innovationen aus:

## Geländemodell als Hologramm

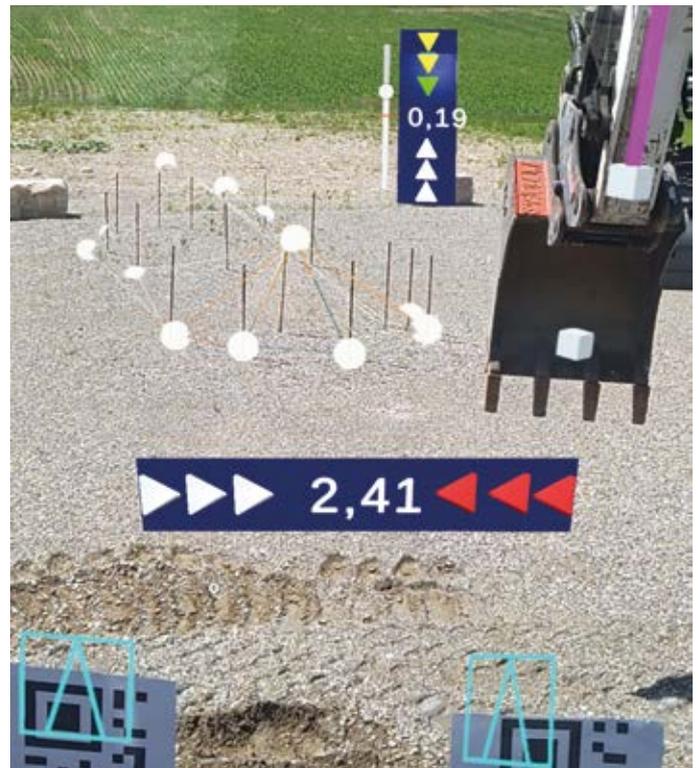
Mit dem als Hologramm eingeblendeten Geländemodell lassen sich Fehler und unnötige Abgrabungen vermeiden. Damit können neue Mitarbeitende schnell in die Baustellenvorgänge eingearbeitet werden. Der Vergleich von Ist-Zustand zu Soll-Zustand ist einfach möglich.

## Assistenz durch verdichtete Informationen

Durch aufbereitete Informationen zu Maschinensensoren, Lageplänen und Gefahrenzonen können sich die Fahrerin oder der Fahrer sicherer auf der Baustelle bewegen. Die Anzahl der verschiedenen Anzeigen in der Datenbrille ist auf das Wichtigste reduziert, um das Fahrpersonal vor Überlastung zu schützen und die Arbeit effizienter zu gestalten.

## Kompatibilität mit Navigationssystem

Das System ist mit dem 3-D-Baggersteuerungssystem verbunden – das Navigationssystem wird als Hauptverarbeitungseinheit verwendet. Über das Navigationssystem werden die Informationen zum Standort des Baggers via GPS, die Maschinendaten sowie die 3-D-Pläne an die AR-Brille übermittelt.



# BIMsite

Erweiterung des BIM-Modells um die Baustelleneinrichtung sowie um Maschinen- und Logistikinformationen



Modellbasierter, geschlossener Informationsfluss von der Planung über die Ausführung bis zur Dokumentation

**Building Information Modeling (BIM) für Baustellen – BIMsite – führt Planungsdaten mit aktuellen Baustelleninformationen zusammen und schafft Transparenz über den Baufortschritt.**

BIMsite ist kompatibel mit BIM- und CAD-Datenformaten, sodass sowohl Bauobjekte (\*.ifc) als auch Maschinen (\*.step) dargestellt werden können. Die BIM-Daten dienen als Prozessgrößen, aus denen sich Einsatzdaten für den Maschinenbetrieb sowie Informationen zur Qualität der ausgeführten Arbeiten gewinnen lassen.

Die Anforderungserhebung sowie die Bewertung aktueller Lösungen für den kommunalen Tiefbau ist mithilfe von Tiefbau-BIM möglich. Darüber hinaus dient BIMsite als digitaler Zwilling der Baustelle. Dazu werden BIMsite (digitales Modell), Tracking-&Tracing-Daten (digitaler Schatten) und die Prozesssimulation (digitaler Zwilling) miteinander gekoppelt.

BIM4infra					
Positionspapier Leitungsbau					
Positionspapier Straßenbau					
Positionspapier Spezialtiefbau					
Experteninterview					
Anzahl Erwähnungen					
<b>3D-Modell</b>	<b>14</b>	✓	✓	✓	✓
Geologisches Bodenmodell und GIS	12	✓	✓	✓	✓
Materialmengen und Stücklisten	10	✓	✓	✓	✓
Arbeitsanweisung	7	✓	✓	✓	✓
Prozessoptimierung	7	✓	✗	✓	✓
Mängel/Verschleiß und Erhaltungsmanagement	6	✓	✓	✓	✓
Abrechnung/Kostenmanagement	6	✓	✓	✓	✓
As-built/As-planned Modelle mit Fertigungsparametern	6	✓	✓	✓	✓
Maschinendaten/-bedarfe	5	✓	✗	✓	✓
Termine/Zeiten	4	✓	✓	✓	✓
Baufortschritt	4	✓	✓	✓	✓
Vermessungsdaten	3	✓	✓	✓	✓
Nachweisführung und Ableitung Pläne/Dokumente	2	✓	✓	✓	✓
Logistikplanung	2	✓	✓	✓	✓
Planungsvariantenuntersuchung	1	✓	✗	✗	✗
Arbeits- und Gesundheitsschutz: Planung und Prüfung	1	✓	✗	✓	✓
Änderungsmanagement	1	✓	✗	✓	✓

Modellinformationen aktueller Tiefbau-BIM-Konzepte im Vergleich



Simulation Menu	Start	End	Close
Shifts	8:00:00	17:00:00	1.0
Driving Parameters	250.0		5.0
Capacities	Digger (m³)	Concrete Truck (m³)	
	Minimum	Maximum	Buy Size
Number Diggers	1	10	1
Number Dumpers/Concrete Trucks	1	10	1
Times Required	Digger Dosing	Reinforcement	Unloading/Concreting
	5.0	20.0	15.0

links: BIM-basierte 3-D-Baugeräteinsatzplanung; rechts: Simulativer Vergleich verschiedener Baustellenplanungsvarianten

# Demoszenario Kanalbau

Herstellung einer Entwässerungsleitung mit digitalen, modellbasierten Methoden und Kooperation von Bagger, Radlader sowie Ladekran

Um die im Verbundprojekt „Bauen 4.0“ erarbeiteten Lösungen einem Praxistest zu unterziehen, haben die Projektpartner ein Kanalbau-Szenario erarbeitet. Dieses Szenario verfolgt folgende Ziele:

1. Show Case: Öffentliche Demonstration einer durchgängig digitalen Bauablaufkette anhand einer typischen Bauaufgabe
2. Automatisierung von repetitiven Aufgaben wie beispielsweise ein Werkzeugwechsel
3. Reduzierung von sicherheitskritischen Arbeiten wie das Arbeiten im Rohrgraben

## Funktionsbeschreibung

Das Demoszenario umfasst den (teil-)automatisierter Ablauf bei der Herstellung einer Entwässerungsleitung. Es ist zu zeigen, dass das Baupersonal nicht im Rohrgraben arbeiten und ständig beim Prozess dabei sein muss. Das Szenario besteht aus einem Bagger (Master) und einem Radlader (Slave). Der Ladekran arbeitet auf einem Zwischenlagerplatz auf der Baustelle. Für die digitale und modellbasierte Bauausführung, die auch den Einsatz automatisierter Maschinen einschließt, ist eine formalisierte Beschreibung der Arbeitsaufgabe notwendig. Ein Modell für eine allgemeingültige Aufgabenbeschreibung einer Bauaufgabe umfasst in Anlehnung an ISO 15143-1 die Daten „Basic Project Data“, „Design Data“, „Construction Planning Data“, „Mission Data“ und „Target Data“ sowie zur Qualitätssicherung die Informationen „Construction Checking Data“, „As-built Data“, „Machine Working Record“ und „Measurement Record“.

## Ablauf angelehnt an DIN EN 1610

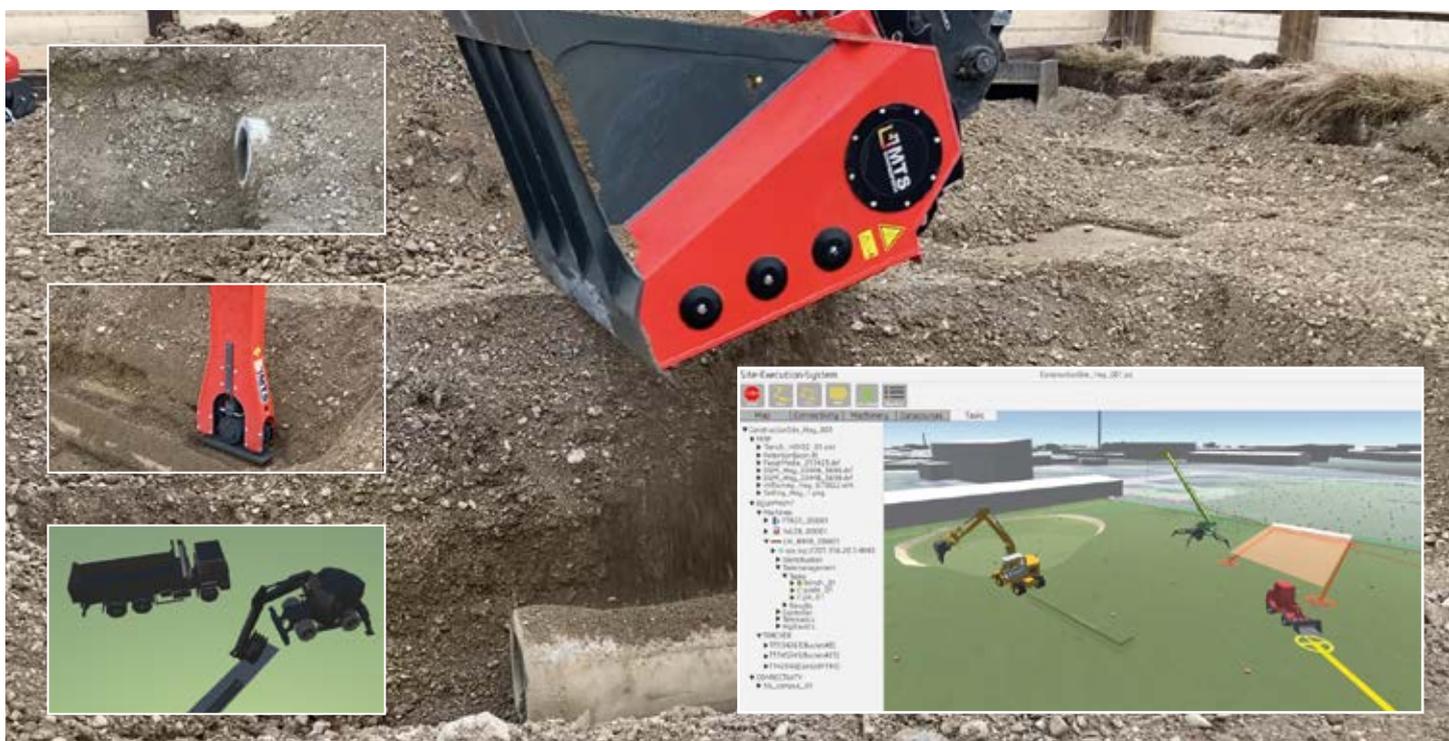
- **Planung:** Es liegt ein digitales Geländemodell als Aufmaß vor. Außerdem sind Geometrie, Zeit und Kosten des Bauprojekts geplant. Der Bodentyp ist bekannt.
- **Rohrgrabenaushub:** Initial muss zur Herstellung der Entwässerungsleitung ein Rohrgraben mit entsprechender Rohrgabengeometrie, beispielsweise 5x0,8x1,25 m mit einem Gefälle von 0,5% ausgehoben werden.
- **Bettungsschicht:** Im Anschluss an den Aushub erfolgt die Herstellung einer unteren Bettungsschicht für das Rohr, indem beispielsweise Sand eingefüllt und verdichtet wird.
- **Rohreinbau:** Das Rohr (Beton, DN 200 L = 1 m) muss zuerst im Graben grob positioniert und im Anschluss daran in die bestehende Leitung eingefädelt werden.
- **obere Bettungsschicht und Seitenverfüllung:** Für eine stabile Rohrposition muss eine Erdschicht mit einer definierten Schichtdicke um das Rohr herum eingebracht und verdichtet werden. Es folgt eine lokale, mehrstufige Verdichtung unter Beachtung der Einhaltung der Rohrposition.
- **Abdeckung und Hauptverfüllung:** Am Ende ist eine finale Abdeckschicht herzustellen, um die initial vorgegebene Erdhöhe zu erreichen.
- **Qualitätssicherung und Datenrückfluss:** Die gebaute Geometrie, die benötigte Zeit und die bewegten Mengen werden von den Maschinen erfasst und dem Projektmanagement zurückgespiegelt.

**Kontakt: Leonhard Weiss GmbH & Co. KG**

Marco Fecke · m.fecke@leonhard-weiss.com · Telefon: 07161 602-1679

**Kontakt: Max Bögl Bauservice GmbH & Co. KG**

Peter Schmid · pschmid@max-boegl.de · Telefon: 09181 909-13612



*Impressionen von der Testbaustelle*

### Mehrwert für die Bauindustrie

- Sofern sich Massen nicht geändert haben und Auftraggebende einverstanden sind,
  - kann die Abrechnung nach Planung erfolgen – ein Aufmaß ist nicht erforderlich,
  - müssen nur Abweichungen zusätzlich dokumentiert werden.
- Die Position des Kanals wird digital dokumentiert.
- Arbeitsabläufe werden vereinfacht und automatisiert.
- Das Baustellenpersonal im Kanalgraben ist geringeren Abgasemissionen ausgesetzt.
- Bauprozesse werden digital erfasst und sind damit nachkalkulierbar – dies unterstützt den kontinuierlichen Verbesserungsprozess (KVP).

**Kontakt: Pusch Bau GmbH & Co. KG**

**Werner Schneider** · werner.schneider@puschbau.de · Telefon: 08467 1576

# Projektpartner

**acticom** mobile networks

**BAUINDUSTRIE**

**BAUER MASCHINEN**

**BEUTLHAUSER**  
Mensch. Technik. Lösungen.

**Danfoss**

**DAS DEUTSCHE  
BAUWERBE**

**esi**  
get it right®

**exelonix**

**5G+ Lab  
GERMANY**

**HoLight**

**HYDAC**

**HYDRIVE ENGINEERING**

**LIEBHERR**

**LEONHARD WEISS  
BAUUNTERNEHMUNG**

**MAX BÖGL**  
Fortschritt baut man aus Ideen.

**IMTS**  
mehr Innovation

**INP**  
INFORMATIONSSYSTEME

**o&o software**

**EPAUS**  
...the people who care

**PUSCH**

**rexroth**  
A Bosch Company

**Thomas**

**team project**

**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**

**TUM**

**VDBUM**  
Verband der Baubranche,  
Umwelt- und Maschinentechnik e.V.

**VDMA**

**VEMCON**  
Machine Control  
Hands-On & Beyond.

**WackerNeuson  
Group**



# B<sup>4</sup>AUEN

BAUPROZESSE | VERNETZUNG | MASCHINEN

## Impressum:

Das Verbundprojekt „Bauen 4.0“ wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 02P17D230 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

### Koordinator des Verbundprojekts:

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Weber · Benjamin Beck  
Technische Universität Dresden  
01602 Dresden  
Deutschland  
E-Mail: [fluidtronik@mailbox.tu-dresden.de](mailto:fluidtronik@mailbox.tu-dresden.de)  
Telefon: +49 351 463-38559

Bildnachweis: Sämtliche in der Broschüre enthaltenen Fotos, Abbildungen und Grafiken haben die Bauen-4.0-Projektpartner beigesteuert bzw. sind während der Projektlaufzeit erarbeitet worden.



[www.verbundprojekt-bauen40.de](http://www.verbundprojekt-bauen40.de)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

BETREUT VOM



PTKA  
Projektträger Karlsruhe  
Karlsruher Institut für Technologie