

SmartSite: Smarte Technologien für den intelligenten Straßenbau

A. Blickle, H. Karstedt, A. Paulitsch, J. Teizer, M. Müller

108

Zusammenfassung Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt SmartSite adressiert das Problem vermeidbarer Mängel im Bereich der Straßenfertigung – und dort insbesondere bei der Deckschichtfertigung. Bei großen Infrastrukturprojekten entstehen hierdurch langfristig signifikante wirtschaftliche Schäden. Zur Lösung dieser Probleme entwickelt SmartSite hocheffiziente, offene und flexible Plattformen für intelligente autonome Baumaschinen und Anlagen, intelligente autonome Baustellenetze und Umgebungen und die intelligente Bauprozesssteuerung. Dazu werden neuartige, dezentrale und mobile Lösungen auf der Basis von SmartX-Technologien entwickelt und Konzepte des Internets der Dinge und Dienste auf den Straßenbau übertragen. Das Projektkonsortium, bestehend aus allen relevanten Innovationsketten zur Entwicklung, Realisierung und marktnahen Erprobung der angestrebten Lösungen, wird im Rahmen des Technologieprogramms „Autonomik für Industrie 4.0“ im Zeitraum von 2013 bis 2016 durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

1 Hintergrund

Wertschöpfungsnetzwerke im Straßenbau zeichnen sich durch eine hohe Dynamik und Komplexität von Produkt, Produktionsprozess und Umwelt aus. Demgegenüber steht eine nur äußerst geringe Fehlertoleranz bezüglich der zu fertigenden Qualität. Mängel im Bereich der Straßenfertigung – und dort insbesondere bei der Deckschichtfertigung

– sind stets mit hohen finanziellen und zeitlichen Aufwänden verbunden, da das bereits gefertigte Produkt aufwendig rückgebaut und von neuem gefertigt werden muss. So entstehen bei großen Infrastrukturprojekten Schäden durch die Beseitigung vermeidbarer Mängel oftmals in Höhe von bis zu fünf Prozent der Bausumme. Pro Jahr fallen damit allein in Deutschland mehr als zwei Milliarden Euro zusätzliche Instandsetzungsaufwände durch mangelnde Qualität im Straßenbau an [1]. Die volkswirtschaftlichen Schäden (u. a. Staukosten) sind noch ungemein höher [2].

Ursächlich für das Auftreten der Mängel sind das Zusammentreffen einer Vielzahl rechtlich und wirtschaftlich selbständiger Akteure und ein heute noch sehr geringer Automatisierungsgrad mit inflexiblen, zentralen Steuerungs- und Rückmeldungssystemen. Es fehlen eine automatisierte Erhebung, logistische Verknüpfung und anwenderbezogene Aufbereitung prinzipiell vorhandener Daten sowie deren rechtzeitiger Rückgabe in den Fertigungsprozess. Bisherige Erkenntnisse aus Forschungs- und Entwicklungsarbeiten [3], [4], [5], [6], [7], [8] weisen darauf hin, dass durch eine Erhöhung des Automatisierungs- und Autonomiegrades hin zu einer wertschöpfungs-systemweit koordinierten und Roboter-gestützten Fertigung und Logistik mit Verfahren der Built-In-Quality [9] erhebliche Beiträge zur Verbesserung der Qualität und der ökonomischen sowie ökologischen Effizienz der Straßenfertigung erzielt werden können.

2 Bisherige Prozesse im Asphaltbau

Unter der Lean Construction Methodik werden verschiedene Programme für die Planung, die Umsetzung und die Auswertung von Baumaßnahmen verstanden. Heutzutage werden mithilfe von Checklisten alle relevanten Informationen, sonstige Randbedingungen und offenen Punkte, die für die Planung und Durchführung eines Projektes notwendig sind, eingeholt und geklärt [10]. In der Bauablaufplanung werden alle für die Baustelle wichtigen Daten visuell aufbereitet, sodass dem Bauleiter klare und eindeutige Vorgaben für einen reibungslosen Einbau zur Verfügung stehen. Daten wie, Baufeldlänge, Baufeldbreite, Bauanfang, Bauende, einzubauende Schichtdicken, sowie die Art des Asphaltmischguts, sind auf einen Blick sichtbar zusammengefasst. Ein wesentlicher Vorteil einer graphischen Darstellung der Bauablaufplanung ist das Erkennen von etwaigen Unklarheiten, Störpotenzialen und sonstigen kritischen Randbedingungen. Sie ist zudem eine eindeutige Kommunikationsgrundlage für alle Baubeteiligten.

Ein weiteres Tool dient der Leistungsermittlung der Asphaltmischanlagen. Hier werden Mischleistungen unterschiedlicher Asphaltmischgutsorten und Silokapazitäten zusammen mit den für die Baustelle zur Verfügung stehenden Mischgutmengen je Stunde und pro Tag übersichtlich dargestellt. Die Ermittlung des Mischgut- und Fuhrparkbedarfs erfolgt oftmals mit einem einfach bedienbaren manuellen Excel-Tool. Durch die Eingabe relevanter Einbauparameter wie Einbaudicke, -breite und -gewicht sowie Einbaugeschwindigkeit wird der erforderliche Mischgutbedarf automatisch errechnet.

Dipl.-Ing. (FH) Alexander Blickle

Ed. Züblin AG
Albstadweg 3, 70567 Stuttgart
alexander.blickle@zueblin.de
www.zueblin.de

Heiko Karstedt

STRABAG AG
Siegburger Straße 241, 50679 Köln
heiko.karstedt@strabag.com
www.strabag.de

Dipl.-Ing. (FH) Alexander Paulitsch, M.Eng.

Ed. Züblin AG
Albstadweg 3, 70567 Stuttgart
alexander.paulitsch@zueblin.de
www.zueblin.de

Dr.-Ing. Jochen Teizer

Ed. Züblin AG
Albstadweg 3, 70567 Stuttgart
jochen.teizer@zueblin.de
www.zueblin.de

Dipl.-oec. Marcus Müller

Universität Hohenheim, Wirtschaftsinformatik 2
Schwerzstr. 35, 70599 Stuttgart
marcus.mueller@uni-hohenheim.de
www.uni-hohenheim.de/wi2

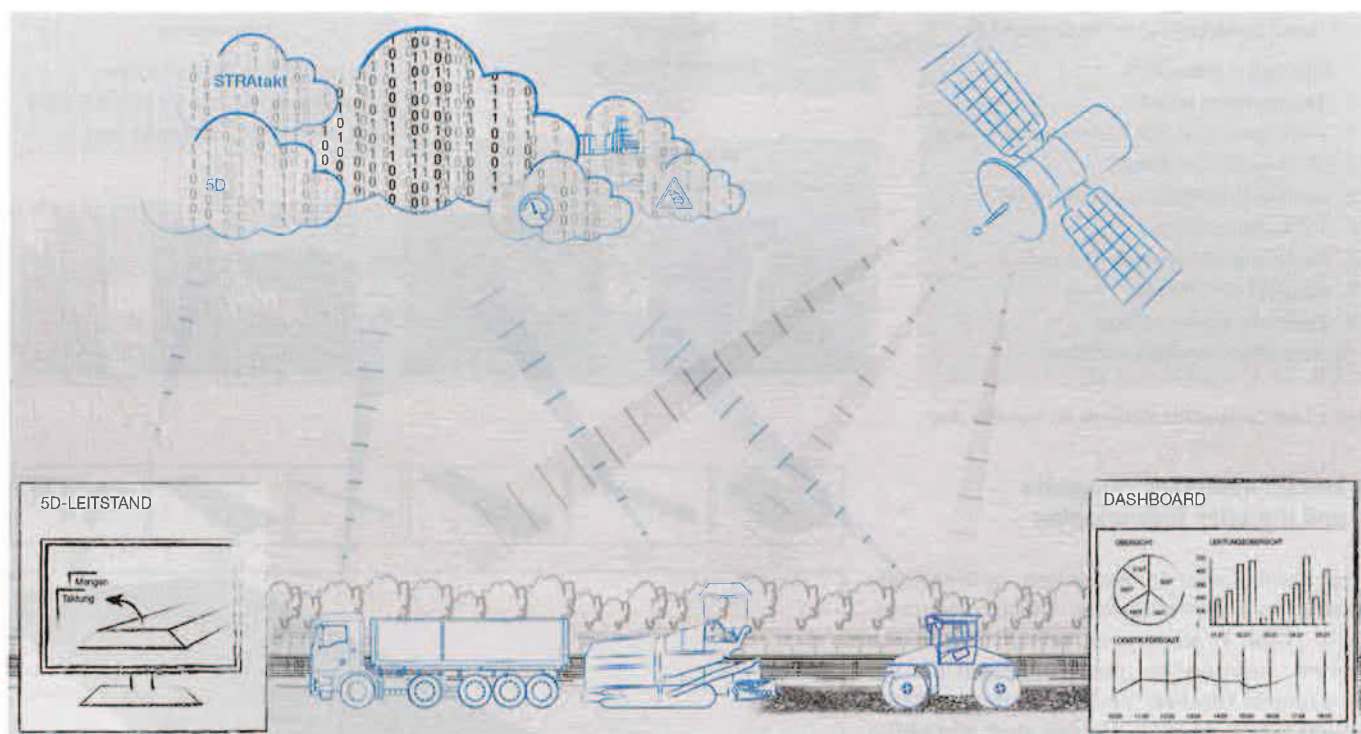


Bild 1. Systemarchitektur der Informationstechnologien zum intelligenten Straßenbau

Die Ermittlung der Lastkraftwagen (Lkw)-Rundenzeiten errechnet sich aus einzelnen Zeitdauern wie beispielsweise Verweildauer eines Lkw auf der Asphaltmischanlage und der Fahrt des Lkw zur Baustelle. Unter Berücksichtigung des Mischgutbedarfs und der Lkw-Rundenzeiten wird die Anzahl der benötigten Lkw errechnet. Basierend auf den bereits ermittelten Planungsergebnissen wird mit einer genauen Taktplanung ein Einbau- und Lkw-Fahrplan generiert, um die Prozesskette, Herstellung, Transport und Asphalteinbau harmonisch aufeinander abzustimmen.

Durch die Abstimmung und Eintaktung dieses Gesamtprozesses Asphalteinbau ist eine Steuerung und somit ein kontinuierlicher Einbau möglich. Unter Berücksichtigung des Einbaubeginns sowie der Pausenzeiten (Ruhe- und Lenkpausen) können somit automatisch jede einzelne Be- und Entladezeit aller Lkw-Fuhren berechnet werden. Diese Taktplanung mit der Auflistung aller Fahrten wird an den Mischmeister, an den Asphaltpolier und an jeden Lkw-Fahrer übergeben. Alle Beteiligten sind dadurch über den gesamten Einbauablauf mit den jeweiligen Be- und Entladezeiten informiert. Durch die gleichmäßige Verteilung der Lkw werden hohe Lkw-Spitzen und somit Wartezeiten an der Asphaltmischanlage oder vor dem Fertiger vermieden. Um mögliche Störungen zu vermeiden, wird jeder Lkw durchnummeriert und mit einer Anfahrtsskizze mit Angabe von Einbaurichtung, Zufahrts- und Wendmöglichkeiten ausgestattet.

Verzögert sich jedoch zum Beispiel die Anlieferung des Asphaltmischguts auf die Baustelle aufgrund eines hohen Verkehrsaufkommens zwischen Mischanlage und Baustelle, stoßen die vorhandenen manuell koordinierten Prozesse an ihre technischen Grenzen sowie überfordern sie oft die koordinativen Fähigkeiten des Baustellenpersonals.

3 Ziele des Vorhabens

SmartSite führt daher interdependente, interagierende und bereits einzeln jeweils sehr erfolgreiche Wertschöpfungsketten aus den Bereichen Baumaschinen, Baustellenumgebung und Baustellenetze sowie Bauprozessüberwachung zusammen und vernetzt diese, um wichtige nächste Innovationsschritte auf dem Sektor des Straßenbaus einzuleiten und zu befördern [2], [11], [12]. SmartSite erhebt und dokumentiert dazu die auswertbaren Daten für Umwelt, Baumaschine und Bauprozesssteuerung entlang der gesamten Wertschöpfungskette Straßenbau, von der Mischanlage über die Transportlogistik bis hin zum voll automatisierten Fertiger und Walzenzügen (Bild 1).

Die SmartSite-Plattform führt dabei die Maschinensteuerung mit den 5D-Planungsdaten, den Baugeräte-IST-Daten, mit der über Netzwerke angebundenen digitalen, modellbasierten Bauprozesssteuerung zusammen. Ziel ist eine dynamische, bidirektionale und Internet Protokoll (IP)-basierte Ende-zu-Ende-Kommunikation zwischen Maschinen und Bauprozesssteuerung.

Im beschriebenen Anwendungsfall einer Störung in der Kette des Asphalteinbaus würde durch SmartSite das System sofort Anweisungen und Vorschläge errechnen, um einen möglichst behinderungsfreien Bauablauf zu sichern (Bild 2). Diese beständen beispielsweise in der Reduzierung der Geschwindigkeit des Asphaltfertigers und/oder der Umleitung der Fahrtroute der Lkws. Durch die Erfassung der sensorbasierenden Maschinen, werden Baufortschritt und Qualität in Echtzeit in der SmartSite-Cloud erfasst, wodurch zu jedem Zeitpunkt SOLL- und IST-Daten miteinander verglichen und diese am 3D-Modell visualisiert werden können.



Bild 2. Lean Construction Methodik im Asphaltbau

4 Einsatz moderner vernetzter und digitaler Technologien

Um diese Ziele zu erreichen, müssen die existierenden räumlichen Infrastrukturmodelle (Bild 3) strukturell erweitert und um weitere Information, unter anderem die Dimensionen Qualität und Leistungsmeldung, angereichert werden. Ferner sind Methoden der Datensammlung durch Sensoren, der computergestützten intelligenten Datenverarbeitung und der Integration qualitätsrelevanter Daten in die Maschinensteuerung neu zu entwickeln [13], [14]. Die Bauprozesssteuerung wird damit unmittelbar mit Daten direkt von der Baustelle versorgt. Die Überwachung der Prozessausführung sowie die Visualisierung der Information erfolgen über Geräte wie Smartphones und SmartTablets. Diese zukünftigen Arbeitsgeräte der Maschinenisten und Bauleiter sind untereinander vernetzt und bieten jederzeit Zugang zu den relevanten digitalisierten Daten.

SmartSite entwickelt damit den Autonomiegedanken wesentlich weiter als bisherige Forschungs- und Entwicklungsprojekte. Hierfür werden neuartige, flexible und offene Plattform-Lösungen für intelligente autonome Baumaschinen („Service Roboter“), intelligente autonome Baustellenumgebungen und Netze („Smart Networks“) sowie intelligente, wertschöpfungssystemweite Bauprozesssteuerung und -überwachung auf Basis dezentraler SmartX-Technologien entwickelt. Dies erfolgt unter anderem durch die Erweiterung und Übertragung von Konzepten des Internets der Dinge und Dienste auf Tiefbaustellen [2].

SmartSite bezieht in die Datenlieferkette vorgelagerte, baustellenexterne Anlagen (Asphaltmischwerke), die Baustellenumgebung („Smart Dust“) sowie externe Daten (u. a. Stauinformationen) mit ein. Dadurch wird eine weit in die Zukunft orientierte Bauprozesssteuerung möglich. Unter Einbezug serviceorientierter sowie Cloud-basierter Architekturen und dem Einbezug mobiler Smart-Technologien wird ein ortsunabhängiger Zugriff auf steuerungsrelevante Daten für Mensch und Maschine (Rückkopplung der Daten in die Maschinensteuerung) möglich. Dies setzt intelligente Authentifizierung und Autorisierungsverfahren voraus.

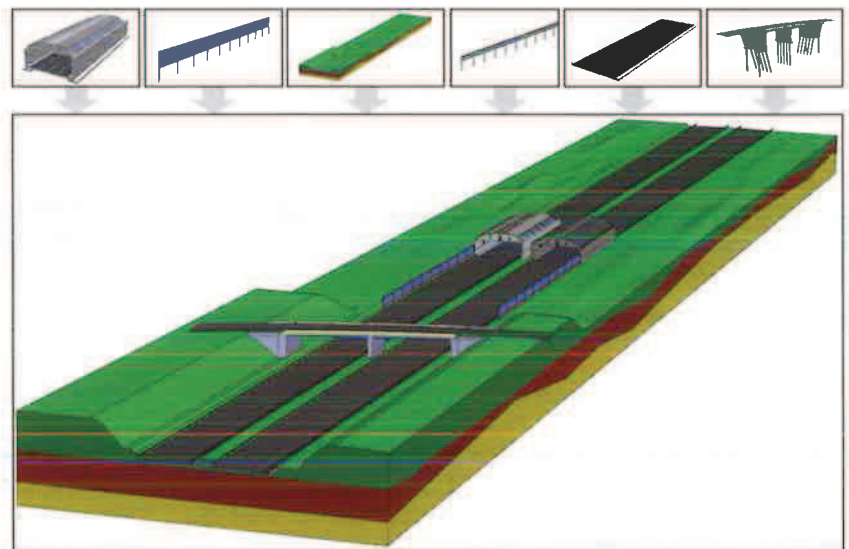


Bild 3. Gewerkeübergreifende BIM-Planung und Steuerung von Verkehrsinfrastrukturprojekten



Bild 4. Cockpit-Lösung für die Echtzeit Datenvisualisierung der Asphaltverdichtung auf einer Walze [2]

Die angestrebte Architektur des SmartSite-Systems sieht eine Cockpit-Lösung vor (Bild 4). Hierfür werden die 5D-Planungsdaten (BIM/3D-Modell, Terminpläne und Logistiksteuerung) in einer Cloud verwaltet, auf die die an der Baumaßnahme beteiligten Unternehmen, wie Auftraggeber, Auftragnehmer, die Baustelle, Mischwerke, Baumaschinen und Transport- und Bauunternehmen, angebunden sind. Über eine auf sie angepassten rollenbasierten Programmoberfläche auf einem Computer oder Mobilgerät haben sie Zugriff auf die Informationen im SmartSite-System und können gegebenenfalls in Echtzeit steuernd eingreifen. Das bereits in einem früheren Forschungsprojekt AUTOBAU-LOG [3] entwickelte SiteLink-System für die Maschinensteuerung wird dabei direkt an die SmartSite-Cloud ange-

bunden und in das SmartSite-System integriert. Unter Nutzung serviceorientierter sowie cloud-basierter Architekturen und dem Einbezug mobiler, smarter Sensoren wird ein ortsunabhängiger Zugriff auf steuerungsrelevante Daten auch für die Maschine möglich. Eine Rückkopplung der Daten in die Maschinensteuerung setzt intelligente Authentifizierungs- und Autorisierungsverfahren voraus.

5 Projektstatus

Für die weitere Entwicklung des SmartSite-Projekts wurde bisher ein kompletter Planungsdatensatz als Informationsmodell in Form einer drei Kilometer langen Straße erstellt, um einen mehrtägigen Asphalteinbau zu simulieren [2]. Darin sind alle relevanten Daten modellbasierend enthalten, zum Beispiel 3D-BIM-Modell, Leistungsverzeichnis, Kalkulation, Terminplanung und Lkw-Taktplanung. Diese Daten werden mit den zu entwickelnden Technologien anderer Partner (z.B. Mischwerk-, Maschinen- und Logistiksteuerung) ergänzt, um allen am Straßenbauprojekt Beteiligten sichere, genaue und personalisierte Informationen Cockpit-Lösungen zur Verfügung zu stellen und den Baufortschritt oder Störungen jederzeit problemlos erfassen und überprüfen zu können.

Mit einer multimodell-basierten Bauprozesssteuerung und Dokumentation der einzelnen Prozesse einer Baustelle wird an Pilotprojekten und einer realen Asphaltbaustelle die neu entwickelte Technologie bis 2016 getestet. Somit stehen bei Projektabschluss alle relevanten Informationen für die Bauprozesssteuerung zur Verfügung. Unter anderen werden folgende Fachmodelle zugrunde gelegt: Bauwerksmodell, Mengenmodell, Kostenmodell, Vorgangsmodell und Qualitätsmodell.

6 Vorläufiges Fazit

Durch die Vernetzung über die Cloud werden Mischwerk, Maschinen, Planungsleitstand und Baustellenleitstand so miteinander vernetzt, dass diese bidirektional ihre Daten austauschen können. Durch die Erhebung der sensorbasierten Daten, welche auch die Qualität des gelieferten und eingebauten Materials erfassen (z.B. Fahrgeschwindigkeiten, Verdichtungskennwerte, Anzahl der Überrollungen und die Temperatur des Mischgutes), können diese in einem multimodell-basierten Bautagebuch in der Cloud dokumentiert und an die angebundenen Systeme zur Auswertung herangezogen werden. Die erhobenen Baustellendaten werden aufbereitet in mobilen, App-basierten Cockpit-Endgeräten situationsadäquat präsentiert und bieten so dem Nutzer (u.a. Bauleiter) die Möglichkeit einer völlig neuartigen Arbeitsorganisation. Das intelligente autonome System schafft die Möglichkeit, Baumaschinen weitgehend autonom zu steuern, welche die Qualität und den Ablaufprozess optimiert. Des Weiteren schafft das autonome System auf Grundlage der Daten eine optimierte Lieferkette zwischen Mischwerk, Lieferung und Einbau. Durch die in der Cloud erfassten Ist- und Soll-Daten wird ermöglicht, dass auch weitere Systeme, wie zum Beispiel die vorzeitige Simulation der Logistik erstellt und durch die Soll-Daten ausgewertet werden kann [15], [16], [17].

Literatur

- [1] Ramsauer, P.: 2,2 Milliarden Euro für Erhalt der Autobahnen und Bundesstraßen. Pressemitteilung des Bundesverkehrsministeriums, 10. Januar 2011.
- [2] Mueller, M.; Kuenzel, R.; Teizer, J.; Blickle, A.: SmartSite: Intelligent And Autonomous Environments, Machinery, And Processes To Realize Smart Road Construction Projects. Proceedings of the 32nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Oulu, Finland, 2015.
- [3] Frantzen, C.; Kirn, S.; Kaak, M.; Sturm, A.: Research Project AutoBau-Log – Autonomy and Multi-Agent systems for job-site. Proceedings of the International Conference Machine Control & Guidance (MCG), Bonn, 2010.
- [4] Heikkilä, R.; Jaakkola, M.: Automation of road construction--the state of the art in Europe. 23th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC, 2006.
- [5] Jaselskis, E. J.; Han, H. C.; Grigas, J.; Tan, L.; Fahrion, D.: Status of roller mountable microwave asphalt pavement density sensor. In: Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 127 (2011), Iss. 1, pp. 46-52.
- [6] Krishnamurthy, B. K.; Tserng, H. P.; Schmitt, R. L.; Russell, J. S.; Bahia, H. U.; Hanna, A. S.: AutoPave: towards an automated paving system for asphalt pavement compaction operations. In: Automation in Construction, Vol. 8 (1998), Iss. 2, pp. 165-180.
- [7] Navon, R.: Automated project performance control of construction projects. In: Automation in Construction, Vol. 14 (2005), Iss. 4, pp. 467-476.
- [8] Scherer, R. J.; Tauscher, H.; Schapke, S.-E.: MEFISTO: Management – Führung – Information – Simulation im Bauwesen – Tagungsband. Institut für Bauinformatik, Technische Uni Dresden, Dresden, 2011.
- [9] Leung, S.; Mak, S.; Lee, B. L. P.: Using a real-time integrated communication system to monitor the progress and quality of construction works. In: Automation in Construction, Vol. 17 (2008), Iss. 6, pp. 749-757.
- [10] Kirn, S.; Müller, M.: Autonome Steuerung in der Baustellenlogistik – Modelle, Methoden und Werkzeuge für den autonomen Erdbau. Cuvillier Verlag, Göttingen, 2013.
- [11] Pitzler, D.; Cremer, M.: Maschinentechnische Optimierungen an Asphaltverarbeitenden Maschinen. 41. VDBUM Seminar, 2012, pp. 24-29.
- [12] Minchin, R. E.; Thomas, H. R.: Validation of Vibration-Based Onboard Asphalt Density Measuring System. In: Journal of Construction Engineering & Management, Vol. 129 (2003), Iss. 1, pp. 1-7.
- [13] Golparvar-Fard, M.; Bohn, J.; Teizer, J.; Savarese, S.; Peña-Mora, F.: Evaluation of image-based modeling and laser scanning accuracy for emerging automated performance monitoring techniques. In: Automation in Construction, Vol. 20 (2011), Iss. 8, pp. 1143-1155.
- [14] Günthner, W.; Borrmann, A.: Digitale Baustelle-innovativer Planen, effizienter Ausführen: Werkzeuge und Methoden für das Bauen im 21. Jahrhundert. Springer Verlag, Heidelberg, 2011.
- [15] König, M.; Thewes, M.; Rahm, T.; Scheffer, T.; Sadri, K.; Conrads, A.: Prozesssimulation von maschinellen Tunnelvortrieben. Verfügbarkeitsanalysen der Leistungsprozesse unter Berücksichtigung von Stillständen. In: Bauingenieur 89 (2014), Heft 11, S. 467-477.
- [16] Pradhananga, N.; Teizer, J.: Cell-based Construction Site Simulation Model for Earthmoving Operations using Real-time Equipment Location Data. In: Visualization in Engineering, Vol. 3 (2015), Iss. 12.
- [17] Vasenev, A.; Pradhananga N.; Bijleveld, F.; Ionita, D.; Hartmann T.; Teizer, J.; Dorée, A.: Information Fusion Approach to Increase the Quality of GNSS Data Sets in Construction Equipment Operations. In: Advanced Engineering Informatics, Vol. 28 (2014), pp. 297-310.