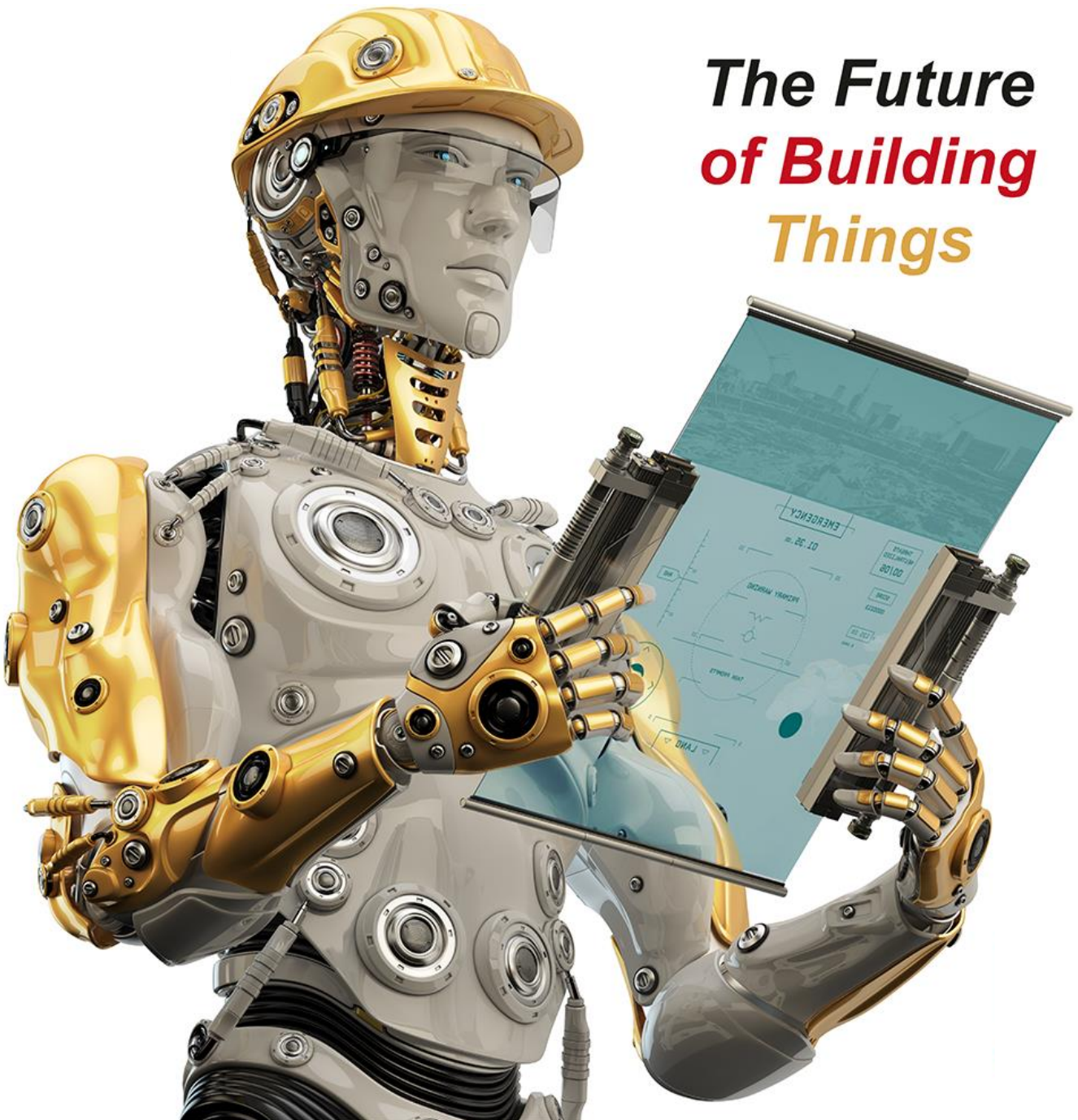


# Proceedings of the 35<sup>th</sup> International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2018)

Berlin, Germany, July 20-25, 2018

*The Future  
of Building  
Things*



**Jochen Teizer, Markus König (Hrsg.)**  
**Ruhr-Universität Bochum**  
**Deutschland**

ISBN 978-3-00-060855-1

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Auflage 2018

Alle Rechte vorbehalten

© 2018 International Association on Automation and Robotics in Construction

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der einzelnen Autoren unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlaggestaltung: Jochen Teizer, Bochum

# Introduction

This publication is the Proceedings of the 35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC). The symposium which had 490 attendees was held in the Maritim proArte and at the Technische Universität in Berlin, Germany during 20-25 July 2018. The Proceedings include an illustrated review of the program (in German language, previously published in BAUINGENIEUR), the names of organizations and persons who contributed to the technical program, and the 174 technical papers from 36 countries authored for this international meeting.

The manuscripts were presented during 29 sessions, among them: safety and health, information modeling, advanced sensing and imaging technologies, automation, robotics, control systems, intelligent computing on data processing, internet of things, 3D printing, emergency response, construction management, infrastructure and tunneling, augmented and virtual reality, data visualization, unmanned aerial vehicles, education, and ergonomics.

Please note: All ISARC proceedings since 1984 are available at no cost at <http://www.iaarc.org>.

We are very grateful for the support of so many. Thank you!

Dr. Jochen Teizer, Ruhr-Universität Bochum (General Chair, ISARC and Hackathon)

Dr. Markus König, Ruhr-Universität Bochum (Co-Chair, ISARC)

Dr. Timo Hartmann, Technische Universität Berlin (Co-Chair, Hackathon)

## Acknowledgements

Symposium host: The International Association for Automation and Robotics in Construction

Ruhr-Universität Bochum, Germany

Technische Universität Berlin, Germany

Symposium sponsors: Arcadis

Autodesk Inc.

Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure

GIS International Technology LLC

Robert Bosch GmbH

Topcon Deutschland GmbH

United Arab Emirates, Ministry of Infrastructure Development

VHV Versicherungen

ZPP Ingenieure

Symposium co-sponsors: Automation in Construction, An International Journal, Elsevier

aec hackathon

Conrad GmbH

Deutsche Forschungsgemeinschaft

Die Deutsche Bauindustrie

Ed. Züblin AG

W. MARKGRAF GmbH & Co KG

Wolffkran

# Technical Committee

Bryan Adey  
Pär Ahman  
Burcu Akinci  
Mohamed Al-Hussein  
Alex Albert  
Tatsuo Arai  
Carlos Balaguer  
Burcin Becerik-Gerber  
Thomas Bock  
André Borrmann  
Frédéric Bosché  
Ioannis Brilakis  
Tobias Bruckmann  
Alexey Bulgakov  
Carlos Caldas  
Alessandro Carbonari  
Daniel Castro  
Hung-Ming Chen  
Po-Han Chen  
Jack C P Cheng  
Min-Yuan Cheng  
Yong Cho  
Moon Young Cho  
Angelo L.C. Ciribini  
Sigrid brell-cokcan  
Maximilian Dichtl  
Kristina Doycheva  
Esin Ergen  
Behzad Esmaeili  
Henk Freimuth  
Raul Fuentes  
Hiroshi Furuya  
Borja Garcia de Soto  
Ernesto Gambao  
Jozef Gasparik  
Olga Golovina  
Mani Golparvar-Fard  
Quang Ha  
Carl Haas  
Amin Hammad  
Chang-Soo Han  
Ferri Hassani  
Rauno Heikkilä  
Patrick Herbers  
Thomas Hilfert  
Daehie Hong Korea  
Kepa Iturralde  
Vineet Kamat  
Christian K. Karl

ETH Zurich, Switzerland  
Swedish Construction Fed.  
Carnegie Mellon Univ., USA  
Univ. of Alberta, Canada  
North Carolina State Univ., USA  
Osaka University, Japan  
Univ. Carlos III de Madrid, Spain  
Univ. of Southern California, USA  
Tech. Univ. Munich, Germany  
Tech. Univ. Munich, Germany  
Heriot-Watt University  
University of Cambridge, UK  
Univ. Duisburg-Essen, Germany  
Ministry Edu. & Science, Russia  
Univ. of Texas at Austin, USA  
Univ. Polit. Marche Ancona, Italy  
Georgia Tech, USA  
Ntl. Taiwan Univ. Science & Tech.  
Ntl. Taiwan Univ., Taiwan R.O.C.  
Hong Kong Univ. Science & Tech.  
Ntl. Taiwan Univ. Science & Tech.  
Georgia Tech, USA  
Korea Inst. of Construction Tech.  
Univ. degli Studi di Brescia, Italy  
RWTH Aachen  
Ruhr-Universität Bochum, Germany  
Ruhr-Universität Bochum, Germany  
Istanbul Technical Univ., Turkey  
George Mason Univ., USA  
Ruhr-Universität Bochum, Germany  
Leeds Univ., United Kingdom  
Obayashi Corporation, Japan  
New York Univ. Abu Dhabi, UAE  
Univ. Politecnica de Madrid, Spain  
Slovak Univ. Technology, Slovakia  
Ruhr-Universität Bochum, Germany  
Illinois Institute of Technology, USA  
Univ. of Tech. Sydney, Australia  
University of Waterloo, Canada  
Concordia University, Canada  
Hanyang Univ., Republic of Korea  
McGill University, Canada  
Oulu University, Finland  
Ruhr-Universität Bochum, Germany  
Ruhr-Universität Bochum, Germany  
Univ. Seoul, Rep. Korea  
Tech. Univ. of Munich, Germany  
The Univ. of Michigan, USA  
Univ. Duisburg-Essen, Germany

Angelika Kelz  
Changwan Kim  
Huoungkwan Kim  
Iva Kovacic  
Soonwook Kwon  
Ghang Lee  
Jin-Kook Lee  
Junbok Lee  
Sanghoon Lee  
Karlheinz Lehner  
Christian Leifgen  
Nan Li  
Thomas Linner  
Ming Lu  
Gunnar Lucko  
Elham Mahmoudi  
Jürgen Melzner  
Silvia M. Ventura  
Hannah Mattern  
Carol Manassa  
Osama Moselhi  
Mohammad Nahangi  
Ronie Navon  
Marcel Neuhausen  
Jens Otto  
Nipesh Pradhananga  
Benny Raphael  
Javad M. Sardroud  
Anoop Sattineni  
Markus Scheffer  
Kevin Schwabe  
Zeynep Seckin  
JongWon Seo  
Isaac Shabtai  
Xuesong Shen  
Kateryna Sigalov  
Miroslaw Skibniewski  
Arnim Spengler Univ.  
Piotr Szykarczyk  
Meysam Taghavi  
Lavinia C. Tagliabue  
Koshy Varghese  
Xiangyu Wang  
Jan Weber  
Trefor Williams  
Józef W. Wajskova  
Frans van Gassel  
Ningshuang Zeng

Ruhr-Universität Bochum, Germany  
Chung-Ang Univ., Rep. of Korea  
Yonsei Univ., Republic of Korea  
Technical University Vienna, Austria  
Sungkyunkwan Univ., Rep. of Korea  
Yonsei Univ., Republic of Korea  
Hanyang Univ., Republic of Korea  
Kyung Hee Univ., Republic of Korea  
Kyung Hee Univ., Republic of Korea  
Ruhr-Universität Bochum, Germany  
University of Darmstadt, Germany  
Tsinghua University, China  
Technical Univ. Munich, Germany  
University of Alberta, Canada  
Catholic University of America, USA  
Ruhr-Universität Bochum, Germany  
W. MARKGRAF GmbH & Co KG  
Politecnico di Milano, Italy  
Ruhr-Universität Bochum, Germany  
University of Michigan, USA  
Concordia University, Canada  
University of Toronto, Canada  
Technion, Israel  
Ruhr-Universität Bochum, Germany  
Tech. Univ. of Dresden, Germany  
Florida Intl. University, USA  
I.I.T. Madras, India  
Azad Univ. Central Tehran., Iran  
Auburn University, USA  
Ruhr-Universität Bochum, Germany  
Ruhr-Universität Bochum, Germany  
Ruhr-Universität Bochum, Germany  
Hanyang Univ. Seoul, Rep. of Korea  
Israel Institute of Technology, Israel  
Univ. New South Wales, Australia  
Ruhr-Universität Bochum, Germany  
University of Maryland, USA  
Duisburg-Essen, Germany  
Industry Inst. Automation, Poland  
Technical Univ. Munich, Germany  
Univ. degli Studi di Brescia, Italy  
I.I.T. Madras, India  
Curtin University, Australia  
Ruhr-Universität Bochum, Germany  
Rutgers University, USA  
Technical Academia, Poland  
Eindhoven Univ. Tech., Netherlands  
Ruhr-Universität Bochum, Germany

## Program Schedule

	Friday July 20	Saturday July 21	Sunday July 22	Monday July 23	Tuesday Jul 24	Wednesday July 25
	Intl. AEC/FM Hackathon					
	ISARC 2018					
						Technical Tour
08:00 a.m.						
Noon	Opening & Workshops	Hacking & Industry	Hacking & Team Presentations	Keynotes & Academic	Keynotes & Academic	Construction Site Visits
06:00 p.m.	Reception & Team Building	Presentations	Prizes &	Presentations	Presentations	
10:00 p.m.			ISARC Reception		Awards & Gala Dinner	



# ISARC 2018: Internationale Konferenz und Hackathon zur Automatisierung und Robotik im Bauwesen

J. Teizer

## 1 Einleitung

Die „International Association for Automation and Robotics in Construction“ (kurz IAARC: [www.iaarc.org](http://www.iaarc.org)) ist das weltweit führende Netzwerk von anerkannten Fachleuten aus der Wissenschaft und Industrie zur Entwicklung und Anwendung von Automatisierung und Robotik im Bauwesen. Seit 1984 bietet IAARC das jährlich stattfindende „International Symposium on Automation and Robotics in Construction“ (ISARC) an. ISARC bietet Führungskräften und Anwendern aus Verbänden, bauausführenden oder beratenden Unternehmungen, Technologie- und Softwarefirmen, Architektur- und Planungsbüros, Hochschulen und Universitäten eine außergewöhnliche Lern- und Austauschmöglichkeit, um Innovation in Prozessen und Technologieanwendungen in allen Projektlebenszyklusphasen voranzutreiben.

Nach 20 Jahren wurde wieder einmal Deutschland mit Berlin als Austragungsort der 35. ISARC-Veranstaltung gewählt. Vom 20. bis 25. Juli 2018 kamen insgesamt 490 internationale Teilnehmer aus 36 Nationen zusammen (Bild 1). Darunter befanden sich neben Professoren, Doktoranden und Studenten auch 120 Vertreter aus Politik und Bauwirtschaft. Es wurden aktuelle Forschungsergebnisse und praxisrelevante Innovationen vorgestellt.

Den Auftakt machte ein dreitägiger Hackathon mit mehr als 190 Teilnehmern, die in 27 Teams zusammen mit Industriepartnern Prototypen als digitale Lösungen entwickelten. Die Spannweite der vorgestellten Themen reichte von der Integration von IoT-Systemen über intelligentes parametrisches Design, Anwendung von Virtual und Augmented Reality bis hin zum 3D-Druck.

Organisiert wurde die Konferenz von Dr. Jochen Teizer und Prof. Dr. Markus König vom Lehrstuhl für Informatik im Bauwesen der Ruhr-Universität Bochum sowie Prof. Dr. Timo Hartmann vom Institut für Systemtechnik der Technischen Universität Berlin. Unter der Schirmherrschaft des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur und des Hauptverbands der Deutschen Bauindustrie e.V. unterstützen zahlreiche Sponsoren das Programm der ISARC 2018, darunter die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), weitere Bausoftwareunternehmen, Planungsfirmen und Technologie- und Sys-

ISARC 2018 ■ Berlin, Germany ■ July 20-25, 2018

35<sup>th</sup> International  
Symposium on  
Automation  
and Robotics  
in Construction  
&  
International  
AEC/FM Hackathon

*The Future  
of Building  
Things*

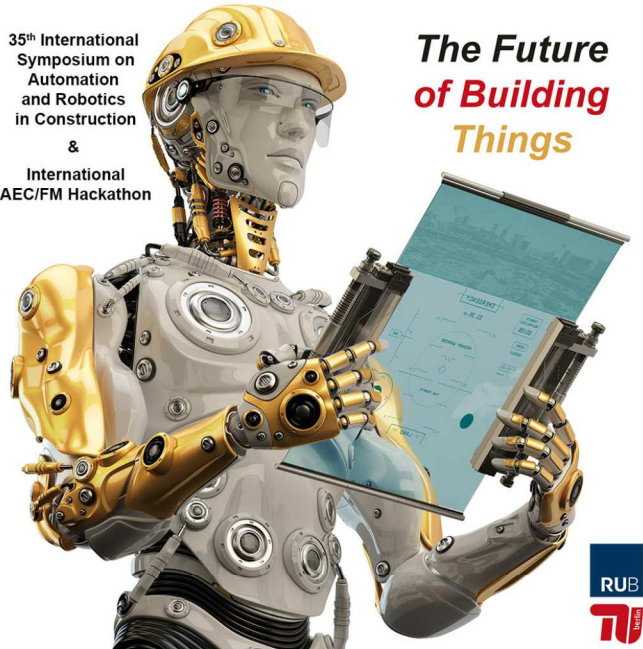


Bild 1. Logo der ISARC 2018.

temintegratoren. Baufirmen ermöglichten als Teil des Rahmenprogramms zwei Baustellenbesichtigungen in Berlin, auf denen aktuellen Trends der Digitalisierung des Bauwesens, unter anderem BIM auf der Baustelle, praxisnah vorgestellt wurden (Bild 2).

Im Folgenden werden einzelne Veranstaltungshöhepunkte während der ISARC 2018 im Detail erläutert.



Bild 2. Baustellenbesichtigung des Axel Springer SE Neubaus

### Dr.-Ing. Jochen Teizer

IAARC Vize-Präsident für die Bauwirtschaft  
International Association for Automation and Robotics in Construction (IAARC)  
Ruhr-Universität Bochum  
Universitätsstraße 150, 44801 Bochum  
[jochen.teizer@rub.de](mailto:jochen.teizer@rub.de)





Bild 3. IAARC Board of Directors mit dem VAE-Minister für Infrastrukturentwicklung und VAE-Botschafter für Deutschland

## 2 IAARC

In der Geschichte der IAARC wurden einige wichtige Entwicklungen vorangetrieben, die mittlerweile in der Baupraxis eingesetzt werden. So wurden bereits vor der Jahrtausendwende beispielsweise die Themen Building Information Modeling (BIM), 3D-Druck, Radio Frequency Identification (RFID) für Materialtracking und Robotik als industrielles Bauverfahren maßgeblich von Forschern und Entwicklern der IAARC beeinflusst. Das IAARC Board of Directors (BoD) ist daher für die strategische Ausrichtung der IAARC-Organisation verantwortlich. Ausgewählte internationale Vertreter aus der Wissenschaft, Technologieentwicklung und Baupraxis nehmen daran teil, um unter anderem die strategischen Ziele in der Automation und Robotik des Bauwesens zu definieren und zu koordinieren. Dieses Jahr konnte auch eine Delegation der Vereinigten Arabischen Emirate (VAE) und des Schwedischen Bauverbands begrüßt werden (Bild 3).

Dr. Abdullah Bin Mohammed Belhaif Al Nuaimi (Minister für Infrastrukturentwicklung), in Anwesenheit des VAE-Botschafters für Deutschland Ali Abdulla Al Ahmed, erklärte wie wichtig Innovation im Bauwesen sei. Der Minister machte in seiner Eröffnungsrede sowie während verschiedener Diskussionen mit den Teilnehmern sehr deutlich, dass die Automatisierung und insbesondere die Robotik das



Bild 4. Intl. AEC/FM Hackathon in der Peter-Behrens-Halle der TU Berlin (Team-basiertes Arbeiten und Präsentationsfläche für Breakout-Sessions der Industrie, im Hintergrund)

Arbeiten auf der Baustelle und auch in den Ingenieurbüros in Zukunft grundlegend verändern wird.

Auch der Schwedische Bauverband, vertreten durch Führungspersonlichkeiten mehrerer Bauorganisationen, pflichtete bei, dass Wissenschaftler/innen, Unternehmen und Anwender viel enger miteinander kooperieren müssten, um vorhandene Innovationspotentiale rascher in der Praxis zu implementieren. Nur so bleibe die europäische Bauindustrie wettbewerbsfähig.

## 3 Intl. AEC/FM Hackathon

Erstmals fand begleitend zur ISARC ein internationaler Hackathon statt. Es kamen 190 Entwickler, Studierende, Nachwuchswissenschaftler und junge Berufstätige aus Start-ups, Universitäten und Bauindustrie zusammen, um gemeinsam Software- und Hardware-Lösungen zu bestehenden Problemen der Bauindustrie zu konzipieren, prototypisch umzusetzen und testweise zu erproben. Das Programm des Hackathons richtete sich vor allem an jüngere Teilnehmer, deren Unternehmerrgeist geweckt oder gestärkt werden soll. Innerhalb von drei Tagen konnten so innovative Ideen gemeinsam mit Firmen umgesetzt werden und berufliche Perspektiven im Bauwesen eröffnet werden (Bild 4).



Bild 5. Präsentationen der 27 Hackathon-Teams vor der internationalen Expertenjury



Bild 6. Ein striktes Zeitlimit (max. 5 min) betont die Problemstellung, den Lösungsansatz, die Ergebnisse und die Wirtschaftlichkeit jedes Hackathon-Themas.





Bild 7. Roboterassistiertes 3D-Drucken



Bild 8. 490 internationale Teilnehmer an der ISARC 2018 in Berlin

Nach der Teilnahme an halbtägigen Workshops zu den Themen Building Information Modeling (BIM), Big Data Mining, Remote Sensing, Internet of Things (IoT) und Augmented and Virtual Reality (AR/VR) bildeten sich 27 Teams, welche unterstützt durch die Expertise internationaler Mentoren an einzelnen, selbstdefinierten Problemstellungen der Bauindustrie arbeiteten. Innerhalb von zwei Tagen wurden beachtliche Erfolge erzielt und anschließend die herausragenden Teams anhand der Bewertung einer internationalen Jury mit insgesamt sieben Preisen ausgezeichnet (**Bild 5** und **Bild 6**).

Unter den teilnehmenden Teams fanden sich anspruchsvolle Themen in der AR/VR, BIM-basierter Takt- und Steuerungsplanung, Robotik zur Herstellung von Straßenmarkierungen, Verkehrsflusssimulation zur Unfallanalyse, Modularisierung, Arbeits- und Gesundheitsschutz, intelligente Sensoren für Baustoffe und automatisierten Fertigung von Bauteilen (**Bild 7**).

#### 4 ISARC 2018

Das Programm der ISARC 2018 umfasste 168 hochwertige Beiträge aus der Wissenschaft und der Industrie zur Digitalisierung des Bauwesens, unter anderem der Bauplanung, des technologieunterstützten Lean Construction, der sensorbasierten Datenerfassung (z. B. Verortung durch RFID/LoRa, GNSS, Laser Scanning, Drohnen), der computergestützten Datenauswertung (Big Data Mining), der erweiterten und virtuellen Realitäten (AR/VR) in der Aus- und Weiterbildung von Fachkräften bei Wartung, Montage, und Monitoring der Prozessabläufe, der Bauwerkinformationsmodellierung (BIM), der Baumaschinen- und Baugeräteautomation, der Modularisierung und Vorfertigung (u. a. Roboteranwendungen und 3D-Druck als neue Bauverfahren), der Internet der Dinge (IoT) (u. a., Cloud-Entwicklungen und mobile Endgeräte für den Einsatz auf Baustellen), sowie zahlreiche weitere interessante und aktuelle Themenfelder um Bauprojekte zuverlässiger planen, abwickeln und



Bild 9. Keynote von Dr. Ilka May zum Thema Gamification in der Bauindustrie

betreiben zu können (**Bild 8**). Auch das Schaffen nationaler und internationaler BIM-Standards zur digitalen Projektzusammenarbeit unter Verwendung von offenen Schnittstellen (z. B. IFC: Industry Foundation Classes – ein offener Standard im Bauwesen zum Datenaustausch von Gebäudemodellen) war ein Thema der ISARC 2018 und dem internationalen AEC/FM Hackathon in Berlin.

Zwei Keynote-Präsentationen, gehalten durch Dr. Ilka May und Prof. Frédéric Bosché, verdeutlichten eindrucksvoll den Einsatz von Technologien der Computerspielentwicklung und der virtuellen Realität in Bauprojekten (**Bild 9**). Die nächste ISARC 2019 findet vom 21. bis 24. Mai 2019 in Banff, Kanada statt ([www.isarc2019.org](http://www.isarc2019.org)). Vorrangige Themen der ISARC 2019 werden Modularisierung, Vorfertigung, Automatisierung und Robotik sein.

Unter <http://www.iaarc.org/> sind alle ISARC Conference Proceedings seit 1984 abrufbar. Dort sind insgesamt mehr als 6 000 wissenschaftliche Publikationen frei verfügbar.

# TABLE OF CONTENTS

<b>Real-time Positioning via LoRa for Construction Site Logistics</b> .....	1
J. Teizer, J. Weber, J. König, B. Ochner and M. König	
<b>Strategic Optimization of 3D concrete Printing using the Method of CONPrint3D</b> .....	9
M. Krause, J. Otto, A. Bulgakov and D. Sayfeddine	
<b>A Cyber-physical System of Diagnosing Electric Drives of Building Robots</b> .....	16
A. Bulgakov, T. Kruglova and T. Bock	
<b>Visualization of an Integrated Model of Construction Projects</b> .....	24
Y. Su, S. Isaac and G. Lucko	
<b>Supporting Post-Occupant Evaluation through Work Order Evaluation and Visualization in FM-BIM</b> .....	32
C. Pin, C. Medina and J. J. McArthur	
<b>Identification of Usage Scenarios for Robotic Exoskeletons in the Context of the Hong Kong Construction Industry</b> .....	40
T. Linner, M. Pan, W. Pan, M. Taghavi, W. Pan and T. Bock	
<b>Scaffolding Modelling for Real-Time Monitoring using a Strain Sensing Approach</b> .....	48
C. Cho, S. Sakhakarmi, K. Kim and J. Park	
<b>Machine Learning for Assessing Real-Time Safety Conditions of Scaffolds</b> .....	56
C. Cho, J. Park, K. Kim and S. Sakhakarmi	
<b>Barriers Analysis to Effective Implementation of BIM in the Construction Industry</b> .....	64
J. M. Sardroud, M. Mehdizadehtavasani, A. Khorramabadi and A. Ranjbardar	
<b>Automatic Generation of the Consumption for Temporary Construction Structures Using BIM: Applications to Formwork</b> .....	72
K. Wu, B. G. de Soto, F. Zhang and B. Adey	
<b>Project Production Flows In Off-Site Prefabrication: BIM-Enabled Railway Infrastructure</b> .....	80
M. Arashpour, Y. Bai, V. Kamat, R. Hosseini and I. Martek	
<b>Automated Localization of UAV's in GPS-Denied Indoor Construction Environments Using Fiducial Markers</b> ....	88
M. Nahangi, A. Heins, B. McCabe and A. Schoellig	
<b>Reasoning on Human Experiences of Indoor Environments using Semantic Web Technologies</b> .....	95
H. Qiu, G. F. Schneider, T. Kauppinen, S. Rudolph and S. Steiger	
<b>PIECE 3D: Portable Interactive Education for Construction Engineering in 3D</b> .....	103
S. Kang, H. Cho, K.-I. Kang, M. Kang and C. T. Haas	
<b>Evaluating Artificial Intelligence Tools for Automated Practice Conformance Checking</b> .....	110
S. Kang and C. T. Haas	
<b>Crack Detection in Masonry Structures using Convolutional Neural Networks and Support Vector Machines</b> ...	118
K. Chaiyasarn, W. Khan, L. Ali, M. Sharma, D. Blackenbury and M. Dejong	
<b>Application of Machine Learning Technology for Construction Site</b> .....	126
H. Ahn, D. Lee, S. Lee, T. Kim, H. Cho and K.-I. Kang	
<b>An Accident Notification System in Concrete Pouring using Sound Analysis</b> .....	134
I. Kim, S. Chin and J. Ko	
<b>BIM- and Mobile-Based System for Supporting Facility Maintenance Management</b> .....	139
C.-Y. Lin, K.-C. Wang, T.-Y. Kuo, L.-H. Yang and W.-C. Wang	
<b>Do Handstorm Principles Support Creative BIM Collaboration?</b> .....	147
F. van Gassel	
<b>The Automation of the Process of Updating the Curing Time Activity in 4D Schedule</b> .....	153
T. Funtík, P. Mayer and J. Gašparík	



<b>BIM Guidelines Review for Public Post-secondary Institutions</b> .....	160
B. Barkokebas, S. B. Hamdan, A. Alwisy, A. Bouferguene and M. Al-Hussein	
<b>Development of Web-based BIM Models Inspection and Modification Management System for Supervisions</b> ..	168
P.-T. Hsiao and Y.-C. Lin	
<b>Classification of Images from Construction Sites Using a Deep-Learning Algorithm</b> .....	176
D. Gil, G. Lee and K. Jeon	
<b>Crack detection in frozen soils using infrared camera</b> .....	182
Y. Zhao, R. Li and H. Seo	
<b>A Study of the Influence Factors on Modular Residential Asset</b> .....	189
D. Lee, J. Lee and C. Han	
<b>Automatic Traveling Method for the Self-Propelled Tunnel Inspection System</b> .....	194
N. Kamimura and S. Nakamura	
<b>Mixed Reality Approach for the Management of Building Maintenance and Operation</b> .....	199
B. Naticchia, A. Corneli, A. Carbonari, A. Bonci and M. Pirani	
<b>Continuing Increasing of Quality Management Level in Construction Company using Excellence Model with Software Support</b> .....	207
J. Gašparík, T. Funtík, M. Gašparík and B. Alamro	
<b>Concrete Inspection Systems Using Hammering Robot Imitating Sounds of Workers</b> .....	214
Y. Takahashi, Y. Ogawa, T. Satoh and S. Maehara	
<b>A Numerical Model for the Attitude Manipulation of Twin-Hoisted Object</b> .....	219
P.-Y. Chen, Z.-Y. Zhuang, C.-M. Chang and S.-C. Kang	
<b>Design for Manufacture and Assembly in Off-Site Construction: Advanced Production of Modular Façade Systems</b> .....	224
M. Arashpour, M. Miletic, N. Williams and Y. Fang	
<b>Framework of Automated Beam Assembly and Disassembly System for Temporary Bridge Structures</b> .....	230
Y.-Y. Yang, C.-M. Chang and S.-C. Kang	
<b>Influence of Automated Building Construction Systems on Vocational Education and Training</b> .....	236
C. K. Karl, A. J. Spengler, T. Bruckmann and C. W. Ibbs	
<b>Adaptive Perception and Modeling for Robotized Construction Joint Filling</b> .....	244
K. Lundeen, V. Kamat, C. Menassa and W. McGee	
<b>A Conceptual Framework for Tracking Design Completeness of Track Line Discipline in MRT Projects</b> .....	252
E. Eray, C. Haas, D. Rayside and M. Golparvar-Fard	
<b>Optimisation of Mixture Properties for 3D Printing of Geopolymer Concrete</b> .....	259
A. Kashani and T. Ngo	
<b>Preliminary System Design for Teleoperating Construction in Extreme Environments</b> .....	267
T. Narumi, S. Aoki, T. Yokoshima, N. Uyama, S. Fukushima, G. Tabuchi, H. Kanamori and S. Wakabayashi	
<b>Development of BIM-based Design and Inspection Prototype Process for Temporary Works</b> .....	273
C.-H. Choi, C.-H. Han and J. Lee	
<b>A BIM-based Conceptual Cost Estimation Model Considering Structural Analysis and Design</b> .....	278
C.-L. Wu, K.-C. Wang and W.-C. Wang	
<b>Knowledge Base for a Disaster Management Dialogue System</b> .....	286
H. Y. Chan, C. H. Yang, M. H. Tsai and S. C. Kang	
<b>Marking Robot in Cooperation with Three-Dimensional Measuring Instruments</b> .....	292
T. Kitahara, K. Satou and J. Onodera	

<b>Improving Supply Chain Communications for Off-Site Construction using Process Specification Language</b> ...	300
W. Xiong, J. Yang, Z. Wang, H. Hu, F. Xu and J. Zhang	
<b>Application of Automation and Robotics Technology in High-Rise Building Construction: An Overview</b> .....	309
S. Cai, Z. Ma, M. Skibniewski, J. Guo and L. Yun	
<b>A Framework for Constructing Semantic As-is Building Energy Models (BEMs) for Existing Buildings Using Digital Images</b> .....	317
H. Ying, Q. Lu, H. Zhou and S. Lee	
<b>A Master Model Approach for Design and Analysis of Roof Trusses</b> .....	325
S. Kubicki, J. Mikkavaara and M. Sandberg	
<b>Inferring Construction Activities from Structural responses using Support Vector Machines</b> .....	332
A. Harichandran, B. Raphael and K. Varghese	
<b>Integrated, Automated and Robotic Process for Building Upgrading with Prefabricated Modules</b> .....	340
K. Iturralde and T. Bock	
<b>BIM-Based Decision Support System for the Management of Large Building Stock</b> .....	348
A. Carbonari, A. Corneli, G. Di Giuda, L. Ridolfi and V. Villa	
<b>Development of Application for Generation of Automatic 2D Drawings based on openBIM</b> .....	356
J. Choi, Y. Lee and I. Kim	
<b>A Methodological Approach to Implement On-Site Construction Robotics and Automation: A Case in Hong Kong</b> .....	362
W. Pan, R. Hu, T. Linner and T. Bock	
<b>Structuring Information from BIM: A Glance at Bills of Materials</b> .....	370
J. Mikkavaara, G. Jansson and T. Olofsson	
<b>Cost Analysis of Equipment in a Building using BIM-based Methods</b> .....	377
C. Liu, M.-X. Yang, L. Allan and C.-J. Ku	
<b>Interactive Visualization for Information Flow in Production Chains: Case Study Industrialised House-Building</b> .....	382
G. Jansson, J. Mikkavaara and T. Olofsson	
<b>An Information Management Framework for Optimised Urban Facility Management</b> .....	389
N. Moretti, M. C. Dejacco, S. Maltese and F. Re Cecconi	
<b>Cable-Driven Parallel Robot for Curtain Wall Modules Automatic Installation</b> .....	396
M. Taghavi, K. Iturralde and T. Bock	
<b>An Algorithm for Optimizing the Location of Attached Tower Crane and Material Supply Point with BIM</b> .....	404
R. Li, Y. Fu, G. Liu, C. Mao and P. Xu	
<b>BIM-based Interoperable Workflow for Energy Improvement of School Buildings over the life cycle</b> .....	412
L. C. Tagliabue, S. Maltese, F. Re Cecconi, A. L. C. Ciribini and E. De Angelis	
<b>Holonic Management Systems for Resilient Operation of Buildings</b> .....	420
M. Pirani, L. Messi, A. Carbonari, A. Bonci and M. Vaccarini	
<b>Integrated Digital and Model-Based Construction Logistics Management Based on Lean Thinking Approaches</b> .....	428
C. Leifgen and S. Kujajewski	
<b>Integrating the Use of UAVs and Photogrammetry into a Construction Management Course: Lessons Learned</b> .....	436
R. E. Pereira, S. Zhou and M. Gheisari	
<b>Towards Robotic Fabrication in Joining of Steel</b> .....	444
E. Kerber, S. Stumm, L. Oster, S. Brell-Cokcan, U. Reisgen and T. Heimig	



<b>Building an Integrated Mobile Robotic System for Real-Time Applications in Construction</b> .....	453
K. Asadi, H. Ramshankar, H. Pullagurla, A. Bhandare, S. Shanbhag, P. Mehta, S. Kundu, K. Han, E. Lobaton and T. Wu	
<b>A 4D Visualization Tool for TBM Worksites using CAP: Integration of 3D Models and Real-Time Modeling Thanks to Database Connections</b> .....	462
R. Gueulet and L. Milesy	
<b>Predictive Analytics for Close Calls in Construction Safety</b> .....	470
O. Golovina, M. Perschweski and J. Teizer	
<b>Cup-of-Water theory: A Review on the Interaction of BIM, IoT and Blockchain During the Whole Building Lifecycle</b> .....	478
Z. Ye, L. Tang, M. Yin and H. Jiang	
<b>A review of IoT Applications in Supply Chain Optimization of Construction Materials</b> .....	487
A. Kumar and O. Shoghli	
<b>A Method of Providing a Panoramic Image Using Single Image Transmission System</b> .....	495
Y. Hamamachi and M. Kurisu	
<b>Holonic Execution System for Construction Management</b> .....	501
B. Naticchia, M. Vaccarini and A. Carbonari	
<b>4D Building Information Modelling: A Systematic Mapping Study</b> .....	509
M. L. A. Escorel Borges, I. C. De Souza, R. S. Melo and J. P. Giesta	
<b>Facilitating the Communication of Rework Information to Craft Workers Using an Augmented Reality Process</b> .....	516
C. Kwiatek, S. K. Li, M.-M. Sharif, N. Jeanclos, C. Haas and S. Walbridge	
<b>Representation of the Joystick Using the Virtual Configuration</b> .....	524
H. Kato and M. Kurisu	
<b>Value Stream Mapping of the Design Process in a Design-Build Firm</b> .....	532
L. A. Torres, M. C. De Souza E Souza, A. C. De Brito Xavier and R. S. Sampaio De Melo	
<b>Robotic Inspection Tests of Tunnel Lining Concrete with Crack Light-section Device on Variable Guide Frame</b> .....	540
D. Inoue, T. Ueno and S. Nakamura	
<b>Generative Architectural Design and Build Strategies based on the Mapping of Human Behaviour</b> .....	546
J. van Ameijde	
<b>Evaluation of Building Use Scenarios by Crowd Simulations and Immersive Virtual Environments: A Case Study</b> .....	554
S. M. Ventura, T. Hilfert, M. Archetti, M. Rizzi, A. Spezia, L. C. Tagliabue, E. Oliveri and A. L. C. Ciribini	
<b>Digitally Fabricated Innovative Concrete Structures</b> .....	562
E. Herrmann, J. Mainka, H. Lindemann, F. Wirth and H. Kloft	
<b>Proposal for a Discipline-Specific Open Exchange Framework</b> .....	570
G. Sibenik and I. Kovacic	
<b>Modeling of Identifying Mediator Effects between Project Delivery Systems and Cost Performance</b> .....	578
H. Moon, K. Kim, T. Williams, H.-S. Lee, M. Park, B. Son and J.-Y. Chun	
<b>NLP and Deep Learning-based Analysis of Building Regulations to support Automated Rule Checking System</b> .....	586
J. Song, J. Kim and J.-K. Lee	
<b>Transfer Learning-Based Crack Detection by Autonomous UAVs</b> .....	593
F. Kucuksubasi and A. G. Sorguc	

<b>A Study of Field Condition Feedback to a Remote Controlled Underwater Heavy Machine Operator</b> .....	601
Y. Nozaki, T. Yoshimi and S. Fuchiyama	
<b>Shape Control of Variable Guide Frame for Tunnel Wall Inspection to Avoid Obstacles Detected by Laser Range Finder</b> .....	607
F. Inoue, S. Kwon, T. Makino, S. Nakamura and Y. Yanagihara	
<b>Evaluation Framework for Korean Traditional Wooden Building (Hanok) through analyzing Historical Data</b> ....	614
N. Seo, Y. Lee, Y. Jeong and Y. Jung	
<b>Development of Automated Mobile Marking Robot System for Free Access Floor</b> .....	622
T. Tsuruta, K. Miura and M. Miyaguchi	
<b>Automatic Tracking Camera System for Construction Machines by Combined Image Processing</b> .....	630
M. Inoue and T. Yoshimi	
<b>A Model for Increasing the Security of Internet of Things in Smart Transportation Systems</b> .....	637
Sanee M. E. Sepasgozar, S. Sargolzaei, Samad M. E. Sepasgozar, I. Kamardeen and S. Sargolzaei	
<b>Issues and Needs for Standard Classifications for Facility Management in Smart Manufacturing</b> .....	647
Z. Jin, S. Kang, Y. Jung, C.-G. Koo and S.-H. Choi	
<b>Integration of a Wearable Interface in a Design-to-Robotic-Production and -Operation Development</b> .....	655
A. L. Cheng, H. Bier and S. Mostafavi	
<b>Photogrammetric Techniques for Monitoring Vegetation and Topographical Changes</b> .....	663
M. Safa, A. Sokolova, L. Moravits, T. Doiron and M. Murdock	
<b>Process- and Computer Vision-Based Detection of As-Built Components on Construction Sites</b> .....	671
A. Braun, S. Tuttas, U. Stilla and A. Borrmann	
<b>Infrastructure Asset Management For Strategic Planning</b> .....	678
J. Jurgens, S. Casey, J. Clements and J. Woo	
<b>Supporting feature-based parametric modeling by graph rewriting</b> .....	685
S. Vilgertshofer and A. Borrmann	
<b>Performance Comparison of Pretrained Convolutional Neural Networks on Crack Detection in Buildings</b> .....	693
Ç. F. Özgenel and A. G. Sorguç	
<b>From the Pyramids via Modern CE to Automation &amp; Robotics: Progress or Regress?</b> .....	701
S. Isaac and R. Navon	
<b>An Ontology of Control Measures for Fall from Height in the Construction Industry</b> .....	706
B. H. W. Guo, Y. M. Goh, E. Scheepbouwer and Y. Zou	
<b>Compound Movement Support by an ULSS Based on a Bioelectrical Signal for Upward High Load Works</b> .....	716
T. Fujita, H. Kawamoto and Y. Sankai	
<b>Automatic Inspection of Embankment by Crawler-type Mobile Robot</b> .....	724
K. Kamiyama, M. Miyaguchi, T. Tsumaki, H. Kato, K. Omura and T. Chiba	
<b>Integration of Imaging and Simulation for Earthmoving Productivity Analysis</b> .....	730
H. Kim, S. Bang, H. Jeong, Y. Ham and H. Kim	
<b>Applying BIM and Visualization Techniques to Support Construction Quality Management for Soil and Water Conservation Construction Projects</b> .....	734
K.-C. Wang, S.-H. Wang, C.-J. Kung, S.-W. Weng and W.-C. Wang	
<b>Embodied Energy Assessment of Building Structural Systems Using Building Information Modeling</b> .....	742
H. Zhou and E. R. Azar	
<b>High Level-of-Detail BIM and Machine Learning for Automated Masonry Wall Defect Surveying</b> .....	750
E. Valero, A. Forster, F. Bosché, C. Renier, E. Hyslop and L. Wilson	
<b>Camera Placement Optimization for Vision-based Monitoring on Construction Sites</b> .....	758
J. Kim, Y. Ham, Y. Chung and S. Chi	



<b>A Deep Residual Network with Transfer Learning for Pixel-level Road Crack Detection</b> .....	763
S. Bang, S. Park, H. Kim, Y.-S. Yoon and H. Kim	
<b>Patch-based Crack Detection in Black Box Road Images using Deep Learning</b> .....	767
S. Park, S. Bang, H. Kim and H. Kim	
<b>A Mathematical Job Allocation Model to Maximize Career Development Opportunities for Construction Workers</b> .....	771
B. Shahbazi, A. Akbarnezhad, D. Rey and A. A. F. Fini	
<b>Combining Building Information Modeling and Ontology to Analyze Emergency Events in Buildings</b> .....	777
C.-Y. Liu, A.-P. Jeng, C.-H. Chang, R.-G. Wang and C.-C. Chou	
<b>Image-based Indoor Localization using BIM and Features of CNN</b> .....	783
I. Ha, H. Kim, S. Park and H. Kim	
<b>The Accuracy Enhancement of Architectural Walls Quantity Takeoff for Schematic BIM Models</b> .....	787
C. Khosakitchalert, N. Yabuki and T. Fukuda	
<b>Analysis of Construction Accidents Based on Semantic Search and Natural Language Processing</b> .....	795
S. Moon, T. Kim, B.-G. Hwang and S. Chi	
<b>Development of the Education of Open Infra BIM Based Construction Automation</b> .....	801
T. Kolli, R. Heikkilä, J. Röning, T. Sipilä, J. Erho, M. Hyryläinen and P. Lammassaari	
<b>A Methodology for the Development of Interoperable BIM-based Cyber-Physical Systems</b> .....	808
F. Correa and A. R. Maciel	
<b>Information Modeling of an Underground Laboratory for the R&amp;D of Mining Automation and Tunnel Construction Robotics</b> .....	816
P. Jalas, V. Isoherranen, R. Heikkilä, T. Makkonen, J. Nevalainen and S. Fraser	
<b>Modelling Information Flow of Occupant Feedback in Office Buildings</b> .....	821
D. Artan, D. Donmez, I. Tekce and E. Ergen	
<b>Automatic Reassembly of Fragments for Restoration of Heritage Site Structures</b> .....	829
S. Vellaichamy, M. Senthilvel and K. Varghese	
<b>Improved Productivity, Efficiency and Cost Savings Following Implementation of Drone Technology in the Surveying Industry</b> .....	836
J. Fassbender, K. Green, A. B. Sanap and J. Woo	
<b>Integrating Facility Management Information into Building Information Modelling using COBie: Current Status and Future Directions</b> .....	842
L. Florez and K. Afsari	
<b>Trajectory Planning of Forces and Arm Tips for Tumbling Operation by Two Arms</b> .....	850
T. Kitazawa and M. Kurisu	
<b>Smart Facility Management Systems Utilizing Open BIM and Augmented/Virtual Reality</b> .....	856
S. Chung, S. Kwon, D. Moon and T. Ko	
<b>Resolution Enhancement for Thermographic Inspection in Industrial Plant Using Deep Convolutional Networks</b> .....	864
H. Choi, H. Seong, H. Son and C. Kim	
<b>Stacked Hourglass Networks for Markerless Pose Estimation of Articulated Construction Robots</b> .....	869
C.-J. Liang, K. M. Lundeen, W. McGee, C. C. Menassa, S. Lee and V. R. Kamat	
<b>Robotics in the Construction Industry: State of the Art and Future Opportunities</b> .....	876
G. Carra, A. Argiolas, A. Bellissima, M. Niccolini and M. Ragaglia	
<b>Recognition and Positioning of SBCs in BIM Models Using a Geometric vs Colour Consensus Approach</b> .....	884
A. Adan, B. Quintana and S. A. Prieto	
<b>Crane Safety System with Monocular and Controlled Zoom Cameras</b> .....	892
A. Vierling, T. Sutjaritvorakul and K. Berns	

<b>BIM-based Surface-specific Solar Simulation of Buildings</b> .....	899
N. Salimzadeh, F. Vahdatikhaki and A. Hammad	
<b>Automated Progress Monitoring of Masonry Activity using Photogrammetric Point Cloud</b> .....	907
A. Pushkar, M. Senthilvel and K. Varghese	
<b>Key Factors of an Initial BIM Implementation Framework for Small and Medium-sized Enterprises (SMEs)</b> .....	914
A. M. Kouch, K. Illikainen and S. Perälä	
<b>Image-based 3D Building Reconstruction Using A-KAZE Feature Extraction Algorithm</b> .....	923
H. Seong, H. Choi, H. Son and C. Kim	
<b>Integrating Parametric Design with Robotic Additive Manufacturing for 3D Clay Printing: An Experimental Study</b> .....	928
O. Kontovourkis and G. Tryfonos	
<b>A Study AR Based Smart Device for Work Management at Plant Construction Sites</b> .....	936
K. Lee, S. Kwon, T. Ko and Y. Kim	
<b>The New Tradition - Dialogues on Production in Architecture</b> .....	943
M. Ferrari	
<b>Automating Analysis of Construction Workers' Viewing Patterns for Personalized Safety Training and Management</b> .....	949
I. Jeelani, K. Han and A. Albert	
<b>Electrical Appliance Control for Smart Buildings Using Real-time Location Tracking and Virtual Environments</b> .....	958
K. Fiawoyife and J. Louis	
<b>A Simulation-based Earthmoving Fleet Optimization Platform (SEFOP) for Truck/Excavator Selection in Rough Grading Project</b> .....	966
C. Yi and M. Lu	
<b>Quantitative Framework for construction Safety Evaluation in Designing Temporary Haul Road Layout on Site Grading Projects</b> .....	973
C. Yi and M. Lu	
<b>Exploring Virtual Reality in Construction, Visualization and Building Performance Analysis</b> .....	979
M. Al-Adhami, L. Ma and S. Wu	
<b>A probabilistic-Based Deterioration Model Using Ground Penetrating Radar</b> .....	987
M. Marzouk, E. M. Abdelkader and T. Zayed	
<b>Extending IFC for Fire Emergency Real-Time Management Using Sensors and Occupant Information</b> .....	995
R. Eftekharirad, M. Nik-Bakht and A. Hammad	
<b>Signature-Based Matching of IFC Models</b> .....	1003
M. T. Shafiq and S. Lockley	
<b>A Data-Mining Approach for Energy Behavioural Analysis to Ease Predictive Modelling for the Smart City</b> ...	1012
L. C. Tagliabue, S. Rinaldi, M. F. Ragusini, G. Tardioli and A. L. Camillo Ciribini	
<b>A 3D model Compression Method for Large Scenes</b> .....	1020
Y. Zhou, L. Wang, L. Ding and C. Zhou	
<b>Multiskilled Human Resource Problem in Off-Site Construction</b> .....	1027
A. Nasirian, M. Arashpour and B. Abbasi	
<b>Extension of a High-Resolution Intelligence Implementation via Design-to-Robotic Production and Operation Strategies</b> .....	1032
A. Liu Cheng and H. H. Bier	
<b>A Methodology for Analysing Productivity in Automated Modular Construction</b> .....	1040
S. Krishnamoorthi and B. Raphael	



<b>Process of Verification of Earthworks Execution using Terrestrial Laser Scanning</b> .....	1048
M. Dubek, T. Funtik, J. Erdelyi, P. Makys and M. Petro	
<b>A Data-driven Framework to Estimate Saving Potential of Buildings in Demand Response Events</b> .....	1054
X. Yu and S. Ergan	
<b>Gaussian Markov Random Fields for Localizing Reinforcing Bars in Concrete Infrastructure</b> .....	1062
K. Thiyagarajan, S. Kodagoda, L. Van Nguyen and S. Wickramanayake	
<b>Influence of Upper Body with Dual Arms on Posture Control of Independently Driven Quadruped Crawler Robot</b> .....	1069
J. Park, M. Kim, Y. Lee, S. Kim, D. Sun, S. Lee and C. Han	
<b>Multi-View Matching for Onsite Construction Resources with Combinatorial Optimization</b> .....	1076
B. Zhang, Z. Zhu, A. Hammad and W. Aly	
<b>Parametric BIM Façade Module Development For Diagrid Twisted Structures</b> .....	1083
T. Akkoyunlu	
<b>Motion Data Based Construction Worker Training Support Tool: Case Study of Masonry Work</b> .....	1089
J. Ryu, L. Zhang, C. Haas and E. Abdel-Rahman	
<b>Radio-Frequency Identification Based Process Management for Production Line Balancing</b> .....	1095
C. Ritter, H. Abaeian, V. Sirbu and M. Al-Hussein	
<b>Designing LiDAR-equipped UAV Platform for Structural Inspection</b> .....	1102
M. Nasrollahi, N. Bolourian, Z. Zhu and A. Hammad	
<b>Research Trend Analysis for Construction Automation</b> .....	1110
K. Y. Pyo, D. Lee, H. Cho, K.-I. Kang, D. Lee and H. Lim	
<b>Reassigning Construction Laborers based on Body Motion Analysis</b> .....	1116
A. Akanmu, A. Ojelade and T. Bulbul	
<b>Gaming Approach to Designing for Maintainability: A light Fixture Example</b> .....	1123
A. Akanmu, T. Bulbul and A. Ojelade	
<b>Computational Workspaces Management: A Workflow to Integrate Workspaces Dynamic Planning with 4D BIM</b> .....	1127
V. Getuli and P. Capone	
<b>End-to-end Image-based Indoor Localization for Facility Operation and Management</b> .....	1135
Y. Wei and B. Akinci	
<b>The Module of Rebar Modeling for Chinese Building Standard Detailing Drawings by BIM-based Methods</b> ....	1144
M. Yang, I.-C. Wu, C. J. Ku and L. Allan	
<b>Construction Process Simulation in Tunnel Construction – A Prerequisite for Automation</b> .....	1149
M. Scheffer and R. Duhme	
<b>Trajectory-Based Worker Task Productivity Monitoring</b> .....	1155
Eirini Konstantinou and Ioannis Brilakis	
<b>Applying Object-oriented Analysis and Design to Digital Construction Logistics Planning from a Material Flow Perspective</b> .....	1162
Z. Ningshuang, M. König and M. Chao	
<b>Construction Worker Detection and Tracking in Bird's-Eye View Camera Images</b> .....	1169
M. Neuhausen, J. Teizer and M. König	
<b>RobotEye Technology for Thermal Target Tracking Using Predictive Control</b> .....	1177
A. M. Singh, Q. Ha, D. K. Wood, M. Bishop, Q. Nguyen and A. Wong	
<b>Using Wearable Devices to Explore the Relationship among the Work Productivity, Psychological State, and Physical Status of Construction Workers</b> .....	1184
C. Mao, Y. Gao, G. Liu, M. König and J. Hong	

<b>Ankle Design with Electromiographic Acquisition System for Transtibial Prosthesis</b> .....	1190
J. H. Martin, L. A. P. Pineros, L. E. Duran, A. Posada and P. Meziat	
<b>Earthmoving Construction Automation with Military Applications: Past, Present and Future</b> .....	1196
Q. P. Ha, L. Yen and C. Balaguer	
<b>4D BIM for Improving Plant Turnaround Maintenance Planning and Execution: A Case Study</b> .....	1207
W. Shou, J. Wang and X. Wang	
<b>Mathematical Optimisation of Rail Station Location and Route Design in Urban Regions through Minimising Noise Pollution</b> .....	1215
A. WA Hammad, P. Wu, M. Hammad, A. Haddad and X. Wang	
<b>Persuasive Effects of Immersion in Virtual Environments for Measuring Pro-Environmental Behaviors</b> .....	1221
S. Khashe, B. Becerik-Gerber, G. Lucas and J. Gratch	
<b>Estimating Construction Workers' Physical Workload by Fusing Computer Vision and Smart Insole Technologies</b> .....	1228
Y. Yu, H. Li, X. Yang and W. Umer	
<b>Construction Equipment Collision-Free Path Planning Using Robotic Approach</b> .....	1236
N. Kayhani, H. Taghaddos and S. Behzadipour	
<b>Utilization of Virtual Reality Visualizations on Heavy Mobile Crane Planning for Modular Construction</b> .....	1242
N. Kayhani, H. Taghaddos, M. Noghabaee and U. (Rick) Hermann	
<b>Automation of the Execution of Monolithic Reinforced Ceilings</b> .....	1247
A. Więckowski	