

ANSCHLUSSPROJEKTE

Industrieller 3D-Betondruck durch selektive Zementaktivierung – Verfahren, Material, Anwendungen | Industrial 3D concrete printing by selective cement activation – process, material, applications

► Daniel Talke¹, Daniel Weger², Klaudius Henke¹, Thomas Kränkel², Dirk Lowke³, Christoph Gehlen², Stefan Winter¹

► ¹ Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, TU München

► ² Centrum für Baustoffe und Materialprüfung, TU München

► ³ Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig

Die selektive Zementaktivierung (SCA) ist ein additives Fertigungsverfahren zur Herstellung von Bauteilen aus Beton. Die SCA gehört zu den Verfahren des selektiven Bindens, bei denen schüttfähiges Material (hier eine Trockenmischung aus Zement und Gesteinskörnung) in dünnen Schichten ausgebracht und durch Einbringen einer flüssigen Komponente (hier Wasser) selektiv gebunden wird. Verglichen mit anderen Verfahren der additiven Fertigung mit Beton sind bei der SCA sowohl die Auflösung als auch die geometrische Freiheit besonders hoch.

Die SCA erlaubt die automatische Herstellung komplexer, frei geformter Betonbauteile auf der Basis eines digitalen 3D-Modells der gewünschten Bauteilgeometrie. Die SCA zeigt damit ein großes Potential im Hinblick auf die Realisierung einer durchgängig digitalen Baufabrikation. Die in diesem Forschungsvorhaben gewonnenen Erkenntnisse, zusammen mit den entwickelten Materialien, Prozessen und Geräten, liefern einen wichtigen Beitrag, um die additive Fertigung durch SCA von der Grundlagenforschung in die prototypische Industrieanwendung zu überführen.

Mithilfe von eigens für das Projekt entwickelten Versuchsdruckern (Bild 1, links) konnten umfangreiche Materialversuche durchgeführt werden, um die Material-Verfahrens-Kombination zu erforschen. Dabei kamen Portlandzement

Selective cement activation (SCA) is an additive manufacturing process for the fabrication of concrete elements. SCA belongs to the group of the selective binding processes in which bulk material (here a dry mixture of cement and aggregate) is spread in thin layers and selectively bound by applying a liquid component (here water). Compared to other additive manufacturing processes using concrete, both resolution and geometric freedom are particularly high with SCA.

SCA allows the automatic fabrication of complex, free-formed concrete elements based on a digital 3D model of the desired geometry. SCA thus shows great potential with regard to the realization of end-to-end digital construction. The findings gained in this research project, together with the developed materials, processes and equipment, provide an important contribution to transfer additive manufacturing by SCA from basic research to a prototypical industrial application.

With the aid of experimental 3D printers specially developed for the project (Fig. 1, left), extensive material tests were carried out to investigate the material-process combination. Portland cement was used as binder and quartz sand or expanded glass granules as aggregates. Tests on the influence of the water/cement ratio showed that, in contrast to conventionally produced

als Bindemittel und Quarzsand bzw. Blähglasgranulat als Gesteinskörnung zum Einsatz. Versuche zum Einfluss des Wasser/Zement-Werts zeigten, dass, im Gegensatz zu konventionell hergestelltem Beton, die Festigkeit des Materials mit steigendem Wasser/Zement-Wert zunimmt. Allerdings beeinflussen höhere Wassergehalte die Formtreue negativ. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass durch die Zugabe von Methylcellulose die Formtreue der hergestellten Objekte signifikant verbessert werden kann [1]. Neben diversen standardisierten Prüfkörpern (i. d. R. Würfel, Prismen und Zylinder) zur Prüfung insbesondere der Formtreue, Festigkeit und Dauerhaftigkeit des Betons wurden im Projekt auch zahlreiche frei geformte Demonstrationsojekte gefertigt (Bild 1, rechts). Versuche mit Blähglasgranulat zeigten schließlich, dass es mit der SCA auch möglich ist, gut wärmedämmende Leichtbetonbauteile z. B. für Anwendungen in der Gebäudehülle herzustellen [2].

Projektbegleitend wurde vom Anwendungspartner Progress Maschinen & Automation AG (Brixen, Italien) ein Großgerät mit einem Bau- raum von 10 m³ entwickelt und damit das Ver-

crete, the strength of the material increases with increasing water/cement ratio. On the other hand, higher water contents also have a negative influence on the dimensional accuracy. However, it was shown that the addition of methylcellulose can significantly improve the dimensional accuracy of the manufactured objects [1]. In addition to various standardized test specimens (usually cubes, prisms and cylinders) for testing the dimensional accuracy, strength and durability of the concrete, numerous free-formed demonstration objects were also manufactured in the project (Fig. 1, right). Finally, tests with expanded glass granules showed that with SCA it is also possible to produce thermally insulating lightweight concrete components, e.g. for applications in the building envelope [2].

Accompanying the project, a large-scale device with a build volume of 10 m³ was developed by the application partner Progress Maschinen & Automation AG (Brixen, Italy), thus transferring the process to the large scale. Due to the promising results, a new department for additive manufacturing in construction was established within the existing company structure. SCA services and

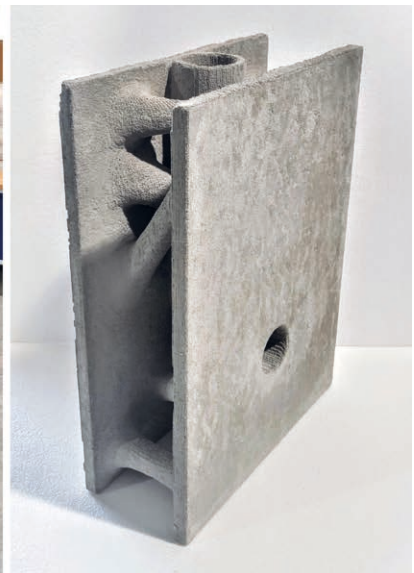


Bild 1: Versuchsdrucker V2 (links) und im Gerät gefertigtes Wandelement (rechts) | **Fig. 1:** Experimental 3D printer V2 (left) and wall element fabricated with the device (right) | Source: Daniel Talke, Klaudius Henke

fahren in den großen Maßstab übertragen. Aufgrund der vielversprechenden Ergebnisse wurde innerhalb der bestehenden Unternehmensstruktur eine eigene Abteilung für die additive Fertigung im Bauwesen etabliert. Unter dem Namen „Progress 3D Innovation“ werden SCA-Dienstleistungen und 3D-Drucker angeboten. Ein erstes Großgerät sowie ein Versuchsgesetz wurden bereits an zwei Standorte in Deutschland ausgeliefert.

Die Forschungsarbeiten an der SCA werden an der Technischen Universität Braunschweig im Rahmen des Teilprojektes A01 im DFG SFB/Transregio TRR 277 „Additive Manufacturing in Construction – The Challenge of Large Scale“ weitergeführt. Schwerpunkte des Projektes sind die noch offenen Fragestellungen zur Material-Verfahrens-Interaktion auf Makro- und Mikroebene sowie die Integration von Bewehrung.

3D printers are offered under the name “Progress 3D Innovation”. A first large-scale device as well as an experimental device have already been delivered to two locations in Germany.

The research work on SCA is being continued at the Technische Universität Braunschweig as part of project A01 in the DFG SFB/Transregio TRR 277 “Additive Manufacturing in Construction – The Challenge of Large Scale”. The project focuses on the still open questions of material-process interaction at the macro and micro level, as well as the integration of reinforcement.

Literatur | References

- [1] Lowke, D.; Talke, D.; Dressler, I.; Weger, D.; Gehlen, C.; Ostertag, C.; Rael, R.: Particle bed 3D printing by selective cement activation – Applications, material and process technology. *Cement and Concrete Research* 134 (2020), 106077 – DOI: 10.1016/j.cemconres.2020.106077
- [2] Weger, D.; Kim, H.; Talke, D.; Henke, K.; Kränkel, T.; Gehlen, C.: Lightweight Concrete 3D Printing by Selective Cement Activation – Investigation of Thermal Conductivity, Strength and Water Distribution. In: Bos, F. P.; Lucas, S. S.; Wolfs, R. J. M.; Salet, T. A. M. (Hrsg.): *Proc. of 2nd RILEM Int. Conf. on Concrete and Digital Fabrication*, 06.–09.07.2020 (online), publ. in RILEM Bookseries, vol. 28), Cham: Springer Int. Publ., 2020, S. 162–171 – https://doi.org/10.1007/978-3-030-49916-7_17

Projektdaten | Project data

Allgemeine Angaben | General information

Industrieller 3D-Betondruck durch selektive Zementaktivierung – Verfahren, Material, Anwendungen

Industrial 3D concrete printing by selective cement activation – process, material, applications

Antragsteller 1 Applicant 1:	Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen
Adresse Address:	TU München, Centrum Baustoffe und Materialprüfung (cbm), Franz-Langinger-Straße 10, 81245 München
Kontakt Contact:	+49 89 289 27061 gehlen@tum.de www.mae.ed.tum.de/cbm
Antragsteller 2 Applicant 2:	Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter
Adresse Address:	TU München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion (hb), Arcisstraße 21, 80333 München
Kontakt Contact:	+49 89 289 22416 winter@tum.de www.cce.ed.tum.de/hbb
Antragsteller 3 Applicant 3:	Prof. Dr.-Ing. Dirk Lowke
Adresse Address:	TU Braunschweig, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), Beethovenstraße 52, 38106 Braunschweig
Kontakt Contact:	+49 531 391 5508 D.Lowke@ibmb.tu-bs.de https://www.tu-braunschweig.de/ibmb/fachgebiete/fachgebiet-baustoffe
Förderer Funding:	Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) / Erkenntnistransferprojekt Knowledge Transfer Project (Projektnummer Project number: 389705984)
Förderzeitraum Period:	01.11.2017–29.02.2020
Team Team:	Daniel Talke Daniel Weger Klaudius Henke Thomas Kränkel
Partner Partners:	Progress Maschinen & Automation AG, Brixen (Italien)

Projektbezogene Publikationen | Project related publications

- Talke, D.; Henke, K.; Weger, D.: Selective Cement Activation (SCA) – new possibilities for additive manufacturing in construction. In: Lázaro, C.; Bletzinger, K.-U.; Oñate, E. (Hrsg.): Form and Force – Proc. of the IASS Annual Symp. 2019/Structural Membranes 2019, 07.–10.10.2019 in Barcelona (Spanien), 2019, S. 1294–1301
- Weger, D.; Kim, H.; Talke, D.; Henke, K.; Kränkel, T.; Gehlen, C.: Lightweight Concrete 3D Printing by Selective Cement Activation – Investigation of Thermal Conductivity, Strength and Water Distribution. In: Bos, F. P.; Lucas, S. S.; Wolfs, R. J. M.; Salet, T. A. M. (Hrsg.): Proc. of 2nd RILEM Int. Conf. on Concrete and Digital Fabrication, 06.–09.07.2020 (online), publ. in RILEM Bookseries, vol. 28), Cham: Springer Int. Publ., 2020, S. 162–171 – https://doi.org/10.1007/978-3-030-49916-7_17
- Lowke, D.; Talke, D.; Dressler, I.; Weger, D.; Gehlen, C.; Ostertag, C.; Rael, R.: Particle bed 3D printing by selective cement activation – Applications, material and process technology. Cement and Concrete Research 134 (2020), 106077 – DOI: 10.1016/j.cemconres.2020.106077

Qualifikation des wissenschaftlichen Nachwuchses im Rahmen des Projektes | Qualification of young academics within the framework of the project

- Papadopoulou, C.: Additive Fertigung durch selektive Zementaktivierung – Versuche zur Erhöhung der Packungsdichte. Bachelor's Thesis, 2018
- Heggie, A.: Additive Fertigung mittels der selektiven Zementaktivierung – Einfluss des Wasserdrucks und des Wassergehalts auf die Festigkeit und Formtreue. Bachelor's Thesis, 2018
- Kleiber, J.: Additive Fertigung mittels der Selektiven Zement Aktivierung – Verbesserung der (Biegezug-)Festigkeit durch Zugabe von Additiven im Trockengemisch. Bachelor's Thesis, 2019
- Mihuta, V.: Additive Fertigung mittels der Selektiven Zement Aktivierung – Beeinflussung der Formtreue mittels Zugabe von Additiven. Master's Thesis, 2019
- Eichhorn, M.: Additive Fertigung mittels der Selektiven Zement Aktivierung – Optimierung der Packungsdichte des Partikelbetts. Bachelor's Thesis, 2020
- Saile, B.: Additive Fertigung mittels der Selektiven Zement Aktivierung – Untersuchungen zur Packungsdichte. Master's Thesis, 2020
- Talke, T.: Additive Manufacturing of concrete by selective cement activation – SCA. Diss. (Einreichung voraussichtlich | Submission expected: 2022)