

KURZBERICHT

Machbarkeitsuntersuchungen zu kontinuierlichen und schalungsfreien Bauverfahren durch 3D-Formung von Frischbeton

Dresden, 22.02.2017



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Fakultät Maschinenwesen, Fakultät Bauingenieurwesen

Institut für Fluidtechnik
Institut für Baubetriebswesen
Institut für Baustoffe



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung
im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



FORSCHUNGSINITIATIVE
ZukunftBAU

Beton-3D-Druck

Machbarkeitsuntersuchungen zu kontinuierlichen und schalungsfreien
Bauverfahren durch 3D-Formung von Frischbeton

Laufzeit: 29.09.2014 bis 30.09.2016

Kurzbericht

– SWD-10.08.18.7-14.07 –

Mathias Näther, Venkatesh Naidu Nerella, Martin Krause
Günter Kunze, Viktor Mechtcherine, Rainer Schach

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des
Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

(Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-14.07)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.

Ausgangslage

Der übliche Ortbetonbau ist sehr arbeits- und zeitintensiv. Aktuell wird weltweit daran geforscht, 3D-Druckverfahren auf Bauprozesse zu überführen. Dies könnte die Defizite des konventionellen Betonbaus reduzieren, Kosten senken und die Arbeitsproduktivität steigern. Im Forschungsvorhaben sollte die Machbarkeit eines neuartigen, schalungsfreien Betonbauverfahrens auf interdisziplinärer Ebene (Maschinenbau, Baustofftechnik, Baubetrieb) untersucht werden.

Gegenstand des Forschungsvorhabens

Unter der Berücksichtigung von bisherigen internationalen Forschungsergebnissen wurde zunächst analysiert, mit welchen Maßnahmen und unter welchen Bedingungen eine Anwendung effizienterer, schalungsfreier Formungssysteme für Beton realisiert werden kann. Im Gegensatz zu den bisher bekannten Ansätzen lag in diesem Forschungsvorhaben ein besonderer Fokus auf der praxistauglichen Umsetzung: das innovative Bauverfahren soll direkt auf der Baustelle (Ortbetonbau) ausgeführt werden, die gerätetechnische Basis stellen etablierte Baumaschinen dar und als Baustoffe sollen im Massivbau übliche Betone zum Einsatz kommen.

Bekannte additive Fertigungsverfahren wurden innerhalb des Forschungsprojektes analysiert und die Übertragbarkeit auf das Bauwesen geprüft. Anschließend wurden Anforderungskriterien für den Baustellenprozess definiert und auf interdisziplinärer Ebene untersucht. Untersuchungsgegenstand der Professur für Baumaschinen waren technische Lösungen zu Betonförderung, Druckkopf und Mechanismen für die Großraumrobotik. Das Institut für Baustoffe untersuchte die rheologischen Eigenschaften der Frischbetone, mechanische Eigenschaften der Festbetone und entwickelte geeignete Betone für den 3D-Druck. Die baubetrieblichen Schwerpunkte wurden durch das Institut für Baubetriebswesen untersucht. Im Fokus der Analysen standen dabei die baubetriebliche Prozessoptimierung, Untersuchungen zu den erforderlichen Datenstrukturen und Datenformaten sowie Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zu Kosten- und Zeitreduktionspotenzialen.

Als technologisches Konzept ist vorgesehen, dass ein Druckkopf schichtweise Beton austrägt, während er von einem Großraummanipulator präzise entlang der vorgegebenen Bahnen bewegt wird.

Nach dem Vergleich verschiedener Robotik-Konzepte stand die Autobetonpumpe im Fokus der maschinellen Untersuchungen. Die Autobetonpumpe hat serienmäßig die notwendige Betonfördertechnik installiert und ihr Auslegermast ist von der mechanischen Struktur her als Großraummanipulator geeignet. Für die computergesteuerte Bewegung des Mastes wurden Steueralgorithmen entwickelt und in Zusammenarbeit mit dem Praxispartner an

einer handelsüblichen Maschine getestet. Durch den Abgleich der gemessenen Koordinaten der automatisch gesteuerten Mastspitze mit der vorgegebenen Bewegungsbahn konnten Aussagen zur Positioniergenauigkeit von Autobetonpumpen getroffen werden.

Die Hauptaufgaben des Druckkopfes umfassen das dosierte Austragen des Frischbetons sowie die Formgebung der einzelnen Betonschichten. Für die technische Umsetzung wurden verschiedene Lösungskonzepte für die einzelnen Teilaufgaben erarbeitet und bewertet. Diese dienen künftig als Grundlage für die Weiterentwicklung des Gesamtsystems.

Die baustofflichen Analysen befassten sich zunächst mit der Auswahl der Ausgangsstoffe und Bestimmung geeigneter Zusammensetzungen von druckbaren Betonen. Diese sollten so gewählt werden, dass der Beton im frühen Alter (0-3 Stunden) eine hohe Grünstandfestigkeit und eine schnelle Aushärtung aufzeigt, ohne dabei an Verarbeitbarkeit und Pumpbarkeit im frischen Zustand einzubüßen. Im Ergebnis wurde ein Szenarien-katalog mit verschiedenen Ausgangsstoffen erarbeitet. Anschließend wurden geeignete Methoden entwickelt, um die mechanischen Eigenschaften, die Fähigkeit der Extrudierbarkeit und Verbaubarkeit verschiedener Betone zu prüfen. Dabei wurde eine ganzheitliche Vorgehensweise zur experimentellen Materialprüfung druckbarer Betone erarbeitet, welche mehrere Untersuchungsverfahren kombiniert. Mit Hilfe dieses neuen experimentellen Vorgehens „Labor-Versuchsstand“ für den 3D-Druck wurden 3D-gedruckte Probekörper für die Bestimmung von Druck- und Biegezugfestigkeit erzeugt sowie systematisch getestet. In der finalen Phase wurden weitere druckbare Betone mit verschiedenen Ausgangsstoffen entworfen und für unterschiedliche Anwendungsfälle charakterisiert. Experimentelle Untersuchungen bestätigen die Machbarkeit der schalungsfreien Extrusion von Frischbeton durch 3D-Druck. Die entwickelten druckbaren Feinbetone zeichnen sich durch gute Extrudierbarkeit, ausreichende Verbaubarkeit und hohe Druckfestigkeit aus.

Innerhalb der baubetrieblichen Untersuchungen wurden zunächst anwenderseitige Anforderungen und mögliche Anwendungsszenarien erarbeitet. Als Hauptanwendung wurde für den ersten Entwicklungsschritt der Ersatz für Mauerwerksbau definiert. Die meisten Anwendungsfelder ergeben sich im Wohnungsbau, vorrangig bis 5-geschossig. Anschließend wurde eine Analyse der erforderlichen Datenstrukturen und Datenformate durchgeführt. Die Basis bildet dabei die Prozesskette bestehender, kleinformatiger 3D-Druckverfahren. Die Analyse der Wirtschaftlichkeit wurde anhand eines Beispielgebäudes in Größe eines Einfamilienhauses durchgeführt. Dabei wurden die Baukosten und terminlichen Auswirkungen für die Wandfertigung im angestrebten Verfahren gegenüber dem Mauerwerksbau untersucht. Im Ergebnis konnte nachgewiesen werden, dass mit dem angestrebten Verfahren signifikante Reduzierungen der Baukosten und Ausführungszeiten realisierbar sind.

Fazit

Mit den Erkenntnissen aus der Forschungsarbeit konnte die Machbarkeit der angestrebten Betonbautechnologie nachgewiesen werden. Zentrale Ergebnisse sind:

- Auflistung konkreter Anforderungen an die Maschinenteknik (Druckkopf, Robotik, Betonförderung),
- geeignete Feinbetonrezepturen einschließlich Methoden zur Prüfung der betontechnologischen Eigenschaften,
- Wirtschaftlichkeitsanalysen zu Kosten und Ausführungszeiten,
- Demonstration in Laborversuchen im Maßstab 1:5 mit Hilfe eines Versuchsstandes.

Sowohl von technischer als auch von wirtschaftlicher Seite sind damit die Grundlagen für die Weiterentwicklung dieses Bauverfahrens geschaffen. Die Auszeichnung der Forschungsarbeiten mit dem „bauma Innovationspreis 2016“ und das wachsende Interesse von Industrie und Öffentlichkeit unterstreichen zudem den hohen Stellenwert dieses Projektes. Deshalb ist aus Sicht der Projektbeteiligten die Weiterführung der Forschungsarbeiten bis zur praxistauglichen Umsetzung der Technologie dringend anzuraten.

Eckdaten

Kurztitel:	Beton-3D-Druck
Projektleitung:	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Weber TU Dresden, Professur f. Baumaschinen
Forschungsleitung:	Prof. em. Dr.-Ing. habil. Günter Kunze TU Dresden, Professur f. Baumaschinen Univ.-Prof. Dr.-Ing. Viktor Mechtcherine TU Dresden, Inst. f. Baustoffe Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer Schach TU Dresden, Inst. f. Baubetriebswesen
Forscher:	Dipl.-Ing. Mathias Näther TU Dresden, Professur f. Baumaschinen M. Sc. Venkatesh Naidu Nerella TU Dresden, Inst. f. Baustoffe Dipl.-Ing. Martin Krause TU Dresden, Inst. f. Baubetriebswesen
Gesamtkosten:	662.909,64 €
Anteil Bundeszuschuss:	404.046,41 €
Projektlaufzeit:	24 Monate

Abbildungen

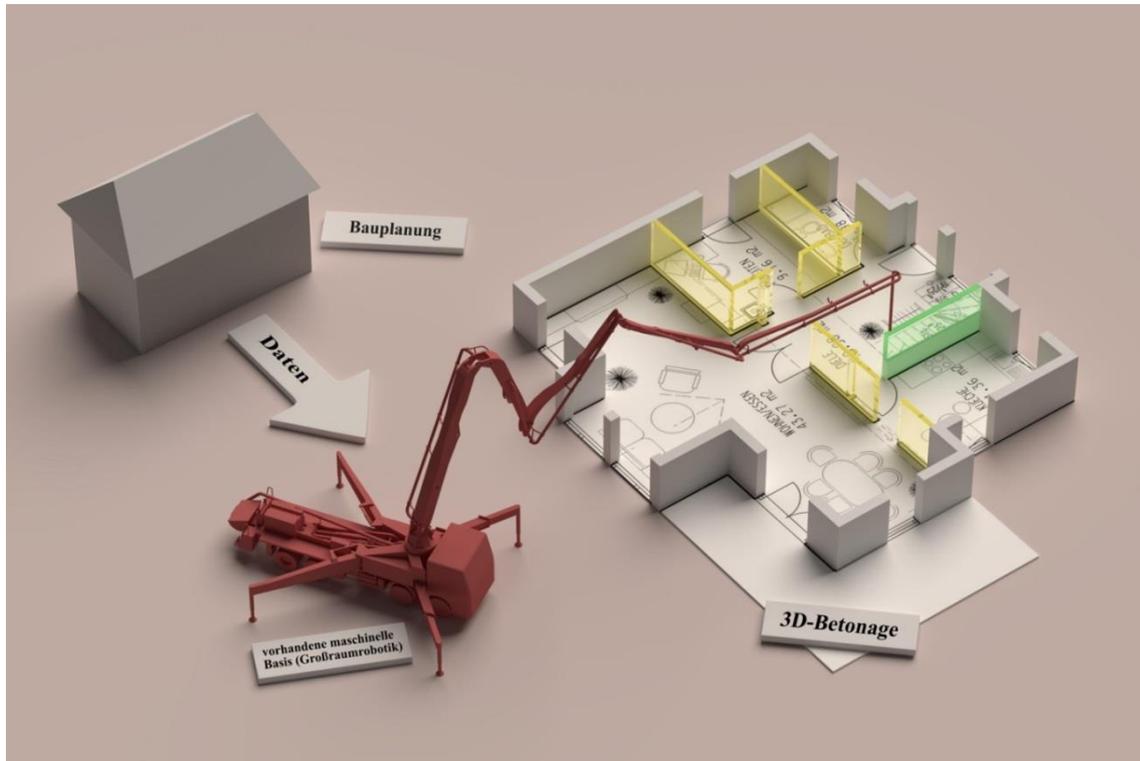


Bild 1: Die wesentlichen Elemente der Beton-3D-Druck-Technologie



Bild 2: Beton-3D-Druck direkt auf der Baustelle (Animation)

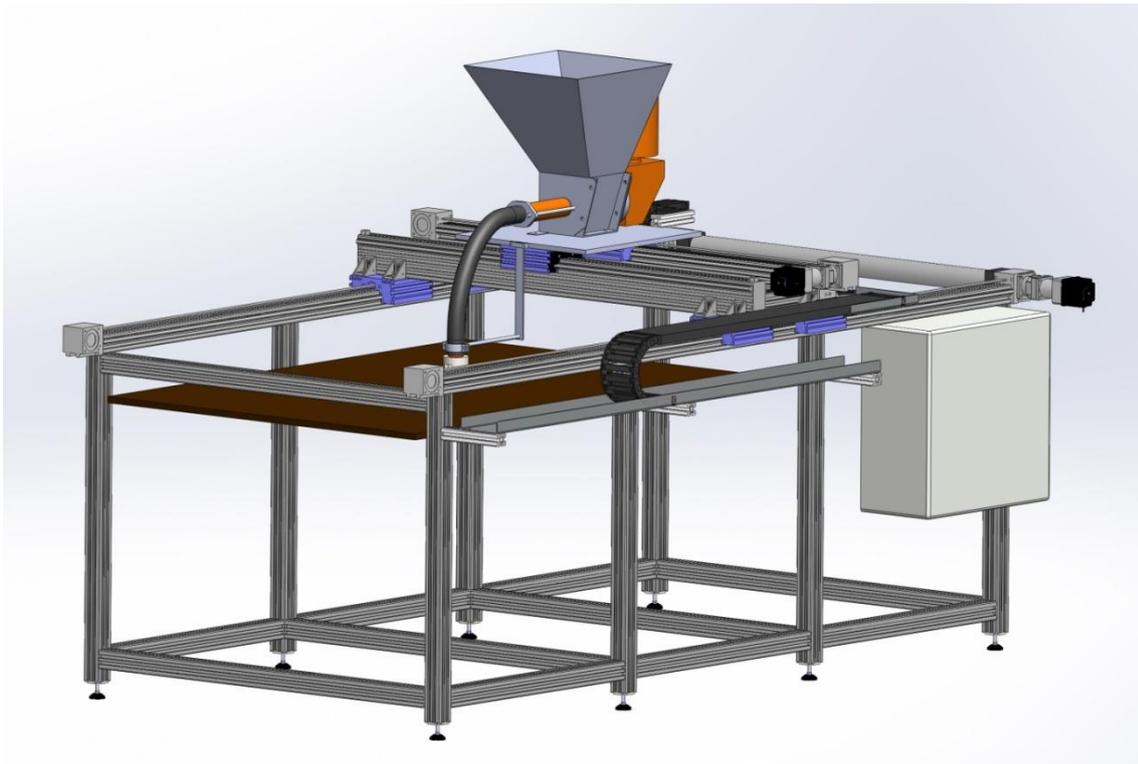


Bild 3: Labor-Versuchsstand für den Beton-3D-Druck (CAD-Darstellung)

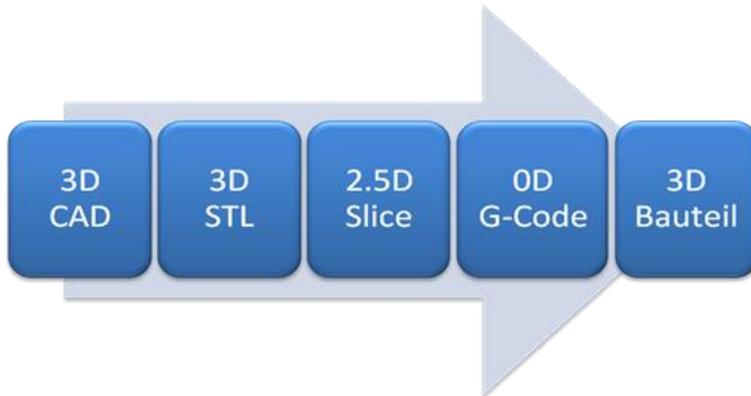


Bild 4: Prozesskette der Datenaufbereitung



Bild 5: links: Ausschnitt einer gedruckten Beton-Wand, rechts: Probekörper