



Der 3D-Drucker lernt, Häuser zu bauen *3D-Printers Learn to Build Houses*

Mit dem 3D-Drucker kann heute vieles einfach, schnell und kostengünstig produziert werden: Schmuck, Kleinteile und sogar Prototypen lassen sich nach den Vorgaben eines digitalen Modells in unterschiedlichen Materialien ausdrucken. Der Druck ganzer Häuser ist noch Zukunftsmusik. Derzeit. Denn auch an der TU Graz arbeitet man an der additiven Fertigung von Betonteilen mittels Druckroboters.

„Begonnen hat alles ganz klassisch: Mit einem neugierigen Studenten“, erzählt Andreas Trummer vom Institut für Tragwerksentwurf der TU Graz. „Einer unserer Studierenden hatte vom 3D-Betondruck gehört und wollte diesen in seiner Masterarbeit eingehend untersuchen.“ Jürgen Holl – damals im Masterstudium Architektur – nutzte das ABB-Roboter-Labor des Instituts für den prototypischen Aufbau einer Förder- und 3D-Printanlage. Er verbrachte Stunden und Tage damit, die Geheimnisse des Betondrucks zu erforschen. Und dann widmete sich das Institut einer noch größeren Frage: Wie kann man diese völlig neue Technologie im Bauwesen zukünftig nutzen?

Many things today can be produced simply, fast and cheaply using a 3D printer: jewelry, small components and even prototypes can all be printed in different materials based on the specifications of a digital model. But printing complete houses is still a long way off. For the moment, at least. But work is being done at TU Graz on additive manufacturing of concrete parts using printing robots.

“Everything began with a curious student,” recounts Andreas Trummer from the Institute of Structural Design at TU Graz. “One of our students had heard about 3D concrete printing and wanted to explore this in depth in his master’s thesis. Jürgen Holl – at the time doing his master’s in architecture – used the Institute’s ABB robot lab to develop a prototype of a conveyor and 3D printing plant. He spent hours and days researching the mysteries of concrete printing. And then the Institute asked itself an even bigger question: how can this completely new technology be used in the building industry?”

“In some areas the building industry has hardly changed over the last few decades,” explains

„In einigen Bereichen hat sich das Baugewerbe in den vergangenen Jahrzehnten kaum verändert“, erklärt Stefan Peters, Leiter des Instituts für Tragwerksentwurf. „Die Abläufe, nach denen heute Bauten entstehen, unterscheiden sich kaum von jenen, die ich als Jugendlicher bei Ferialjobs am Bau kennenlernte. Aus dem Wunsch, hier Neues zu schaffen, entstand 2015 das Projekt COEBRO (Additive Fabrication of Concrete Elements by Robots). Es wird von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) und Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft über das Bridge-Programm finanziert und getragen. Intention der Förder-schiene Bridge ist es, gemeinsam mit Institutionen und Unternehmen aus Industrie und Wissenschaft praxisnahe Grundlagenforschung zu betreiben und neue Forschungsfelder zu erschließen. Stefan Peters und Andreas Trummer leiten das Projekt COEBRO gemeinsam mit Bernhard Freytag vom Labor für Konstruktiven Ingenieurbau und Viet Tue Nguyen vom Institut für Betonbau. „Was uns antreibt, ist zum einen der feste Glaube, dass ein Technologiesprung im Bauwesen möglich ist“, erklärt Stefan Peters. „Und zum anderen glauben wir, dass diese Technologie genutzt werden kann, um effizienter und ressourcenschonender zu bauen.“

An der TU Graz sind im Bereich Planung, Organisation, Robotersteuerung und generelle Durchführung im Labor Robert Schmid, Georg Hansemann und Dominik Schraml beteiligt. Für das Engineering zeichnen Eva Pirker, Joshua Tapley und Christoph Holzinger verantwortlich. Für die Versuchsdurchführung und das Labor ist Valentino Sliskovic zuständig und im Bereich Betontechnologie Huy Hoang Kim.

Ressourcenschonender Bau

Im Projekt COEBRO hat man sich auf die Produktion von Betonfertigteilen spezialisiert. Das derzeit verbreitetste Herstellungsverfahren ist die Gusstechnik: Dabei wird flüssiger Beton in eine bereits zuvor gebaute und angepasste Schalung gefüllt, wo er sich in der gewünschten Form verfestigt. So gefertigte Bauteile sind zwar äußerst robust, aber nicht immer effizient. Nur wenn aus einer Schalung immer gleiche Betonteile gefertigt werden, ist dieses System wirtschaftlich – egal, ob es nun notwendig ist, immer gleich viel Material zu verbauen, oder nicht. Individuelle oder geometrisch anspruchsvolle Schalungen sind teuer und oft nicht rentabel und werden daher nur sehr selten im Planungsprozess angedacht. Stefan Peters veranschaulicht das Dilemma an einem klassischen Deckenelement, das laut Peters europaweit für Millionen von Quadratmetern eingesetzt wird: Das Element ist an allen Stellen rund 30 Zentimeter dick, hat eine Spannweite von rund acht Metern und wird von Stützelementen getragen. >

Stefan Peters, head of the Institute of Structural Design. “The procedures by which buildings are made today hardly differ from those I got to know as a young person in my holiday jobs on building sites. The COEBRO project (Additive Fabrication of CONCRETE ELEMENTS BY ROBOTS) was launched in 2015 out of the desire to create something new in the field. It is funded and supported by the Austrian Research Promotion Agency (FFG) and partners from science and business through the Bridge programme. The aim of the Bridge funding network is to carry out practical basic research and open up new research fields together with institutions and companies from industry and science. Stefan Peters and Andreas Trummer head the COEBRO project together with Bernhard Freytag from the Laboratory for Structural Engineering and Viet Tue Nguyen from the Institute of Structural Concrete. “What drives us, on the one hand, is a conviction that a leap in technology in the construction industry is possible,” explains Stefan Peters. “On the other hand, we think that this technology can be used to build more efficiently and in a more resource-saving way.”



© Baustädter – TU Graz

Abbildung 1:
Zuständig für die richtige Betonmischung: Betontechnologe Huy Hoang Kim.
Figure 1:
Responsible for the right concrete mix: concrete technologist Huy Hoang Kim.

Robert Schmid, Georg Hansemann and Dominik Schraml are involved in planning, organisation, robot control and general management of the laboratory at TU Graz. Eva Pirker, Joshua Tapley and Christoph Holzinger are responsible for engineering. Valentino Sliskovic is responsible for the laboratory and for carrying out experiments, and Huy Hoang Kim is responsible for the field of concrete technology.



© Baustädter – TU Graz

Abbildung 2:
Projektleiter Peters und Mitarbeiter Hansemann beim ersten Druckversuch.
Figure 2:
Project manager Peters and team member Hansemann during the first printing test.

Resource-saving construction

The COEBRO project specialises in the production of prefabricated concrete parts. The currently >

Das ist relativ schnell zu planen, einfach umzusetzen und es kann eigentlich nicht wirklich etwas schiefgehen“, so Peters. „Effizient im Sinne einer Ressourcenschonung ist das aber nicht. Im Rahmen von COEBRO haben wir uns überlegt, an welchen Stellen des Deckenelements wir Beton einsparen könnten, ohne an Performance zu verlieren. So individuell geplante Elemente kann ein Druckroboter auf Basis eines digitalen Modells umsetzen.“



© Baustächler – TU Graz

Abbildung 3:
Für den Druck wurde gemeinsam mit einem Firmenpartner ein eigener Druckkopf entwickelt.

Figure 3:
Together with a company partner, a separate print head was developed for printing.

Aber warum ist das Betonsparen sinnvoll? Es ist vor allem eine Frage der Ressourcenschonung, wie Peters erläutert: „Heutigen Berechnungen zufolge sind die fossilen Rohstoffe Kohle und Öl nur noch gut 100 Jahre in der heutigen Form nutzbar – für die Zement- und Stahlproduktion braucht es aber eine Menge davon. Wir werden uns also bald ernsthaft die Frage stellen müssen, mit welchen Rohstoffen wir in Zukunft bauen können und wieweit die Stoffe wiederverwendbar sind, wenn sie einmal verarbeitet wurden. Hinzu kommt, dass die Herstellung der gängigen Baustoffe große Mengen an CO₂ freisetzen. Ein effizienterer Ressourceneinsatz könnte hier viel einsparen.“

Zukunft des Baues

Das Institut für Tragwerksentwurf arbeitet in COEBRO gemeinsam mit wissenschaftlichen Partnern der TU Graz – dem Institut für Betonbau und

most widespread manufacturing process is casting technology. In this technology, formwork or shuttering is built and adapted and is filled in with liquid concrete, which solidifies in the desired shape. Building parts prefabricated in this way, although extremely robust, are not always made efficiently. This system is only economical when the concrete parts are made in the same formwork, whether it is necessary to use the same amount of material with respect to stability or not. Individual or geometrically demanding formwork is expensive and often not cost effective, and is only rarely considered in the planning process. Stefan Peters illustrates this dilemma with a classical ceiling component, which according to Peters, is utilised throughout Europe for millions of square metres. The component is some 30 centimetres thick at all points, has a span of around eight metres and is held by supporting elements. “You can design it relatively fast, it’s easy to implement, and actually nothing can really go wrong,” says Peters. “But it is not efficient in terms of conserving resources. In the framework of COEBRO, we thought about where we could save concrete on the ceiling elements without loss of performance. A printing robot can implement such individually designed elements on the basis of a digital model.”

But why is it important to make savings on concrete? It is principally a matter of conservation of resources, as Peters explains: “According to modern calculations, the fossil raw materials coal and oil are only usable for another 100 years in their present form – and cement and steel production need a lot of them. We will soon have to seriously ask ourselves the following question: what raw materials can we build with in the future and to what extent are the materials recyclable after they have been used? On top of this, the manufacture of common building materials releases huge quantities of CO₂. A more efficient use of resources could make a lot of savings here.”

Future of building

The Institute of Structural Design works in the COEBRO project alongside scientific partners of TU Graz – the Institute of Structural Concrete and the Laboratory for Structural Engineering – and a number of other partners from industry, including the energy and automation technology multinational ABB, the special-purpose machinery supplier HAGE, the chemicals company Sika, formwork and scaffolding maker Perl and prefab specialist Kirchdorfer. “We deliberately got companies on board which in their totality mirror the complete production path of a prefabricated concrete part,” explains Trummer, who is also a key player. “In this way, on the one hand, we got important insights into the real specifics of the construction industry. In

Abbildung 4:

Mit dem Ergebnis zufrieden: Das Druckteam nach dem erfolgreichen Druck des Prototyps.

Figure 4:

Satisfied with the result: the printing team after the successful printing of the prototype.



© Baustächler – TU Graz

dem Labor für konstruktiven Ingenieurbau – und mit zahlreichen Partnern aus der Industrie: dem Energie- und Automatisierungstechnikkonzern ABB, der Anlagenbaufirma Hage, dem Chemieunternehmen Sika, dem Schalungs- und Gerüstbauer Peri und dem Fertigteilenspezialist Kirchdorfer. „Wir haben uns ganz bewusst Unternehmen ins Boot geholt, die in ihrer Gesamtheit den gesamten Produktionsweg eines Betonfertigteils abbilden“, erklärt Trummer, der ebenfalls zentral in das Projekt involviert ist. „So erhielten wir einerseits wichtige Einblicke in die realen Gegebenheiten der Baubranche. Die Unternehmen wiederum können aus den Forschungsergebnissen Erkenntnisse für die Zukunft der Branche ableiten.“ Ist der 3D-Betondruck erst einmal ausgereift, hat diese Technologie das Potenzial, den Betonbau von Grund auf zu ändern: „Das wäre ein Paradigmenwechsel.“

Case Studies

Um die neue Bautechnik zu überprüfen, hat man sich im Projekt COEBRO die Realisierung von zwei Fertigteilen vorgenommen: zum einen das oben angeführte Deckenelement mit entsprechenden Aussparungen, zum anderen ein aufwendig verschnörkeltes Fassadenteil, das in einer Schalung so nicht produzierbar wäre.

Mitte November fanden die lange erwarteten ersten Druckversuche im Institut für Konstruktiven Ingenieurbau statt – mit Erfolg, wie sich Stefan Peters heute freut: „Das ist gerade ein wirklich schönes Moment.“

Bis dahin war es aber kein leichter Weg: Der Realisierungsprozess gestaltet sich äußerst aufwendig und forderte ein großes Team an Projekt- und Universitätsassistent/innen sowie Diplomand/innen täglich aufs Neue heraus: Zu Beginn wurden die beiden Elemente eingehend rechnerisch untersucht, alle Einsparmöglichkeiten erörtert und überprüft. Anschließend mussten die Fahrwege des Roboters, der die Elemente produziert, analysiert werden: „Wenn ich eine Schalung in einer bestimmten Form habe, dann brauche ich den Beton nur reinzukippen und alles ist gut“, erklärt Peters. „Wenn ich das Element aber drucken will, muss ich die Fahrwege des Druckroboters zuvor ganz genau berechnen. Im Grunde genommen ist das so, als würde ich ein Haus zeichnen, ohne dabei den Stift abzusetzen.“

Auf Basis der Ergebnisse wurde gemeinsam mit den Industriepartnern ein geeigneter Druckkopf für den Roboter entwickelt. „Zu Beginn haben wir den Beton noch mit der Hand angerührt und über einen Trichter aufgebracht“, denkt Trummer schmunzelnd an die Projektanfänge zurück. Heute wird eine Schneckenpumpe eingesetzt und die Betonmischung trocken in einem Big-Bag-Sack aufbewahrt. >

turn, the companies can extract knowledge for the future of the industry from the research results.” When 3D concrete printing has been perfected, this technology will have the potential to transform concrete construction from the ground up: “It would be a game changer.”

Case Studies

To check the new building technology, two prefabricated parts were realised in the COEBRO project. On the one hand, the above-mentioned ceiling component with appropriate cavities. On the other hand, a complicated, ornate facade part which would be almost impossible to produce using formwork.



© Baustädter – TU Graz

In mid-November, the long awaited first printing tests took place in the Laboratory for Structural Engineering - with success, as Stefan Peters is pleased to report today: “This is a really nice moment.

Until then, however, it was not an easy path. The implementation process was extremely complex and challenged a big team of project and university assistants as well as degree candidates on a daily basis. To begin with, both elements were thoroughly investigated using calculations, and all savings potentials were discussed and checked. Finally, the pathways of the robot which produces the elements had to be analysed: “If I have formwork in a particular shape, then all I have to do is to tip the concrete into it and everything works,” explains Peters. “But if I want to print out the element, I have to calculate the pathways of the robot very precisely beforehand. In fact, it’s like drawing a house without lifting the pencil off the paper.” >

Abbildung 5:
Voller Druckerfolg – der Druckroboter druckt die filigrane Struktur gekonnt aus.

Figure 5:
Complete printing success - the printing robot skillfully prints out the filigree structure.



© Baustädter – TU Graz

Abbildung 6:
Nach dem Druck verbinden sich die einzelnen Schichten und sind nicht mehr voneinander zu unterscheiden.

Figure 6:
After printing, the individual layers combine and can no longer be distinguished from each other.