GEBÄUDE AUS DEM 3D-DRUCKER

A: Nikita Chen-yun-tai

»UM DAS PROBLEM ERSCHWINGLICHER WOHNUNGEN ZU LÖSEN, MUSS MAN SCHNELL, GÜNSTIG UND HOCHWERTIG BAUEN, WAS MIT MODERNEN BAUTECHNOLOGIEN NICHT IN VOLLEM UMFANG GEWÄHRLEISTET WERDEN KANN.«

Traditionelle Baumethoden …

Jährlich wächst die Erde um 60 Millionen Menschen. Um das Problem erschwinglicher Wohnungen zu lösen, muss man schnell, günstig und hochwertig bauen, was mit modernen Bautechnologien nicht in vollem Umfang gewährleistet werden kann.

Die traditionelle Bauwirtschaft kann die Nachfrage nach Wohnraum aufgrund der hohen Kosten nicht decken: Der intensive Einsatz von Arbeitskräften, lange Bauzeiten, der Materialaufwand, Risiken durch menschliche Fehler, Transport- und Logistikkosten, Abfall und der Verbrauch natürlicher Ressourcen sind wesentliche Nachteile althergebrachter Baumethoden. Für all das zahlt der Endverbraucher.

Das Bauwesen ist der am wenigsten automatisierte Industriezweig. In den letzten Jahren ist es hier zu keinen wesentlichen Veränderungen gekommen. Ja, es gibt neue Materialien, aber ein revolutionärer Umschwung ist ausgeblieben. Damit sich endlich etwas verändert, ruhen alle Hoffnungen auf die Einführung von 3D-Druck-Verfahren in der Bauwirtschaft.

Diese Technologie ist in der Welt schon lange bekannt. Man druckt mit Kunststoff, Metall, Keramik und sogar mit Glas, es wird in der Medizin und in anderen Bereichen gedruckt, doch kaum jemand weiß, was 3D-Druck im Bauwesen bedeutet. Da ein Haus aus vielen Teilen besteht, d. h. Fundament, Wände, Fenster und Türen, Zwischendecke, Dach sowie Sanitärtechnik und Elektrik, druckt kein einziges Unternehmen ein komplettes Haus. Wenn wir davon sprechen, »ein Haus zu drucken«, dann meinen wir nur den Druck von Gebäudewänden, denn für andere Prozesse wird bislang noch kein Drucker eingesetzt. (Abb. 1)

… versus 3D-Druck im Bauwesen

3D-Druck im Bauwesen hat damit begonnen, dass mit großen Druckern einzelne Gebäudeteile ausgedruckt und dann an dem für den Bau vorbereiteten Standort montiert wurden.

Vor kurzem sorgte die Meldung für Schlagzeilen, dass in China mit einem 3D-Drucker ein ganzer Fünfgeschosser gedruckt wurde. Aber das ist nicht korrekt, da alles in genau dieser Reihenfolge ausgeführt wurde, die ich eben beschrieben habe – im Werk hat man die Paneele ausgedruckt und dann an einem anderen Ort das Haus daraus zusammengesetzt. Dieses Verfahren unterscheidet sich praktisch nicht von der Plattenbauweise. (Abb. 2)

Innovativ war lediglich die Art der Herstellung dieser Paneele. Die Logistik, die Be- und Entladearbeiten, die Montage waren weiterhin notwendig, alles war wie auf einer herkömmlichen Baustelle.



Abb. 1



Abb. 2

»DA EIN HAUS AUS VIELEN TEILEN BESTEHT, D. H. FUNDAMENT, WÄNDE, FENSTER UND TÜREN, ZWISCHENDECKE, DACH SOWIE SANITÄRTECHNIK UND ELEKTRIK, DRUCKT KEIN EINZIGES UNTERNEHMEN EIN KOMPLETTES HAUS.«

Von den Anfängen …

Der Ausdruck der Gebäudeelemente erfolgte in einem Werk unter kontrollierten Bedingungen mit großen Portaldruckern, die sehr sperrig sind und daher nur schwer auf die Baustelle transportiert, montiert und vor Ort eingerichtet werden können. Und genau aus diesem Grund ist dieses Verfahren nicht revolutionär. Neben der Portalvariante gibt es Drucker auch in der Ausführung als Deltaroboter, doch haben diese die gleichen Beschränkungen. Eine weitere bestehende Lösung sind Industrieroboter, die jedoch ebenfalls zahlreiche Nachteile aufweisen.

Sie haben eine sehr große Masse bei einem kleinen Arbeitsbereich. So wiegt beispielsweise ein Roboter mit nur vier Metern Auslegerweite fünf Tonnen. Auf einer Zwischendecke kann ein solches Gerät nicht aufgestellt werden, da einfach der Boden einbrechen würde. Die zulässige Standardbelastung einer Geschossdecke beträgt 600 kg/m^2. Aufgrund der fehlenden Stabilisierung wird der Roboter bei maximaler Auslegerweite umkippen, daher muss die Konstruktion entweder beschwert oder verstärkt werden. Außerdem sind diese Lösungen sehr teuer, da sämtliche Industrieroboter für hochpräzise Anwendungen entwickelt wurden, bei denen es auf hundertstel Millimeter ankommt. Das ist für die Anforderungen am Bau einfach überflüssig. Für eine sinnvolle und wirklich gute Lösung muss ein vollkommen neuer Mechanismus für die speziellen Aufgaben am Bau entwickelt werden, und das hat Apis Cor getan. Aber darüber etwas später.

… zur echten Revolution

In der Praxis ist es notwendig, den menschlichen Faktor fast vollständig auszuschließen, damit die Anwendung des 3D-Druck-Verfahrens eine echte Revolution bedeutet. Deshalb fing ich an darüber nachzudenken, wie man einen Drucker ohne Beschränkungen im Hinblick auf Mobilität und auf die Größe des zu druckenden Gebäudes entwickeln kann. Als ich mit dem Unternehmen Apis Cor startete, verfügte ich über ausreichend vielfältige Erfahrungen im Bauwesen, in der Robotertechnik, der Chemie und im Programmieren, so dass ich einen betriebsbereiten Prototyp entwickeln konnte. Ich führte eine Anforderungserhebung durch und begann mit der Arbeit, wobei ich gleichzeitig ein Team zusammenstellte und mich um die Finanzierung kümmerte, da mir klar war, dass es ein langer und nicht einfacher Weg sein wird, die nicht nur interdisziplinärste, sondern auch konservativste Branche zu verändern. Es sollte eine Maschine entwickelt werden, die an jeden beliebigen Ort gebracht werden kann und mit der man dort, wo Sie sich Ihr Haus vorstellen, auch sofort mit dem Drucken beginnen kann. Und das automatisiert, d. h. ohne Eingriffe von Menschen. Davon ausgehend erkannte ich, dass der Drucker völlig anders aufgebaut sein muss. Und so entstand auch die Idee des 3D-Druckers für den Bau in Form eines Turmkrans, der ein Haus von innen heraus druckt.

»IN DER PRAXIS IST ES NOTWENDIG, DEN MENSCHLICHEN FAKTOR FAST VOLLSTÄNDIG AUSZUSCHLIESSEN, DAMIT DIE ANWENDUNG DES 3D-DRUCK-VERFAHRENS EINE ECHTE REVOLUTION BEDEUTET.«





Abb. 3+4

Das Ergebnis: ein vor Ort im Ganzen und vollständig ausgedrucktes Haus. Das ist das weltweit erste wirklich gedruckte Haus und kein aus gedruckten Paneelen zusammengesetztes Gebäude. (Abb. 3+4)

»DAS IST DAS WELTWEIT ERSTE WIRKLICH GEDRUCKTE HAUS UND KEIN AUS GEDRUCKTEN PANEELEN ZUSAMMENGESETZTES GEBÄUDE.«

Dieser Drucker hat keine örtlichen Beschränkungen für das Drucken, da er über den kranartigen Manipulator leicht bewegt werden und den Ausdruck des Gebäudes fortsetzen kann.

Die maximale Druckfläche ohne Bewegung des Druckers wird von der Auslegerweite bestimmt, die 6,5 Meter beträgt. Natürlich hätten wir ein Gerät mit einer Auslegerweite von bis zu 20 Metern entwickeln können, um von einem Punkt aus größere Häuser zu drucken. Aber das wäre schon über die Grenze des Sinnvollen hinausgegangen. Je größer die Auslegerweite, umso stärker die Schwankungen, und das führt zu einer geringeren Genauigkeit des Ausdrucks. Um bei einer solchen Auslegerweite die Genauigkeit zu gewährleisten, wäre eine deutlich kompliziertere Konstruktion der Anlage erforderlich gewesen, was erheblich höhere Kosten zur Folge gehabt hätte. Für die nächsten Ausführungen werden wir sogar den Drucker verkleinern und die Anlage stattdessen mit einem Kettenmodul ausrüsten, damit sie autonomer wird.

Wenn wir das Drucken fortsetzen wollen, müssen wir nur den Drucker bewegen, und dafür bedarf es keiner speziellen Vorbereitungen am Aufstellungsort. Es müssen lediglich die Nullpunkte eingestellt werden. Der Drucker scannt selbstständig die Oberfläche, erkennt und speichert Unebenheiten, füllt diese bei Bedarf mit Beton aus und ebnet so den Grund für das Haus vor dem Beginn des Druckvorganges ein. Ohne besondere Probleme kann man Objekte mit einer Fläche von mehreren tausend Quadratmetern drucken, denn die Software des Druckers ermöglicht die Synchronisation des Punktes, an dem der Druck gestoppt wird, und dann die Fortsetzung der Arbeit von einem anderen Ort aus. Die Fläche des zu druckenden Objekts ist lediglich eine Frage, wie oft der Drucker bewegt werden soll, mehr nicht.

»DIESER DRUCKER HAT KEINE ÖRTLICHEN BESCHRÄNKUNGEN FÜR DAS DRUCKEN, DA ER ÜBER DEN KRANARTIGEN MANIPULATOR LEICHT BEWEGT WERDEN UND DEN AUSDRUCK DES GEBÄUDES FORTSETZEN KANN.«

In einem Zyklus druckt der Drucker eine Etage und wird danach vom kranartigen Manipulator aus dem Raum gehoben. Dann werden die Zwischendecke eingezogen, auf die nun der Drucker gehoben wird, um die nächste Etage zu drucken. Und so weiter, Etage für Etage. Somit ist im Prinzip auch die Zahl der Etagen unbegrenzt. Die Errichtung von Hochhäusern ist eine Frage der Materialien und der Art der Bewehrung. (Abb. 5)





Abb. 6+7

Herausforderungen beim Druck von mehrgeschossigen Gebäuden

An dieser Frage arbeiten wir verstärkt, und ich sehe einen Lösungsweg, wie man 3D-Druck für den Bau von mehrgeschossigen Gebäuden nutzen kann. Derzeit werden die meisten Hochhäuser in monolithischer Bauweise errichtet, das ist tatsächlich ein schnelles und seit Langem bewährtes Verfahren. Und ich sehe bislang keinen Sinn darin, dies zu ändern. Außer dem Gebäudeskelett müssen die Trennwände zwischen den Zimmern und Wohnungen errichtet werden, von denen es in einem Hochhaus tatsächlich sehr viele gibt. Heutzutage verwendet man für den Bau dieser Trennwände entweder kleinteilige Materialien (Blocksteine und Ziegel) oder Platten. An mich haben sich ziemlich viele Baufirmen gewandt, die die Errichtung der Trennwände automatisieren wollen, da das ein sehr arbeitsaufwändiger Prozess ist. Hier sehe ich eine spezielle Nische, mit der wir uns in naher Zukunft befassen werden.

Der 3D-Druck von Zwischendecken ist bislang technisch noch recht schwierig umzusetzen, da hier horizontale Konstruktionen gedruckt werden müssen. Bei der Verwendung von Kunststoffen löst man dieses Problem mit dem Druck von Querstreben, die später entfernt werden. Aber bei der Verwendung von Beton ist das nicht möglich, da sich Beton nur sehr schwer demontieren lässt.

Und wenn wir Decken und Dächer gesondert drucken, ist anschließend wieder deren Montage notwendig. Mir persönlich gefällt dieser Ansatz nicht, da er unserer Grundidee widerspricht – der Druck muss vor Ort ohne zusätzliche Montagearbeiten erfolgen. Vollständige Automatisierung, keine Kräne, Anschläger oder anderes Personal, denn diese Arbeiten sind sehr gefährlich. Im kommenden Jahr planen wir die Präsentation unserer Lösung für den 3D-Druck kompletter Häuser.

Perspektiven

Ich glaube wirklich daran, dass der 3D-Druck im Bausektor traditionelle Verfahren verdrängen kann. Gegenwärtig ist davon vor allem der traditionelle Hausbau mit Blocksteinen und Ziegeln bedroht. Erstens drucken Apis Cor und andere Unternehmen mit Gemischen auf der Basis von Zement und Sand, sodass sich ein Haus im 3D-Druck nicht von einem Haus aus Beton unterscheidet, es handelt sich lediglich um eine Art der Materialeinbringung. Der einzige Unterschied ist der Drucker, d. h. ein Roboter und ein automatisiertes System, das den menschlichen Faktor ausschließt. Daher sind Befürchtungen im Hinblick auf die Langlebigkeit von gedruckten Häusern unbegründet. (Abb. 6+7)

»DER EINZIGE UNTERSCHIED IST DER DRUCKER, D. H. EIN ROBOTER UND EIN AUTOMATISIERTES SYSTEM, DAS DEN MENSCHLICHEN FAKTOR AUSSCHLIESST.«

Zweitens macht der 3D-Druck den Bau von Betonhäusern billiger. Zur Veranschaulichung können wir alle Arbeitsschritte in ihrer Gesamtheit betrachten, die für die Errichtung von Gebäudemauern erforderlich sind:

Zunächst werden Blocksteine in einem Werk unter Beteiligung von Personal und Produktionsanlagen hergestellt. Dann werden diese Blöcke zur Baustelle transportiert und entladen, wobei menschliche Arbeitskraft und Spezialtechnik genutzt werden. Nun ist eine Baubrigade etwa zwei Monate lang mit der Errichtung der Mauern beschäftigt – ein sehr arbeitsaufwändiger Prozess. (Abb. 8)

Die Verwendung eines Druckers ersetzt mehr als die Hälfte der Arbeitsschritte – die Baumaterialien sind bereits vor Ort, und der von einem Mitarbeiter gesteuerte Drucker errichtet die Mauern innerhalb weniger Tage. Mit einer

BAU-ARBEITSSCHRITTE VON BETONHÄUSERN IN DER ÜBERSICHT

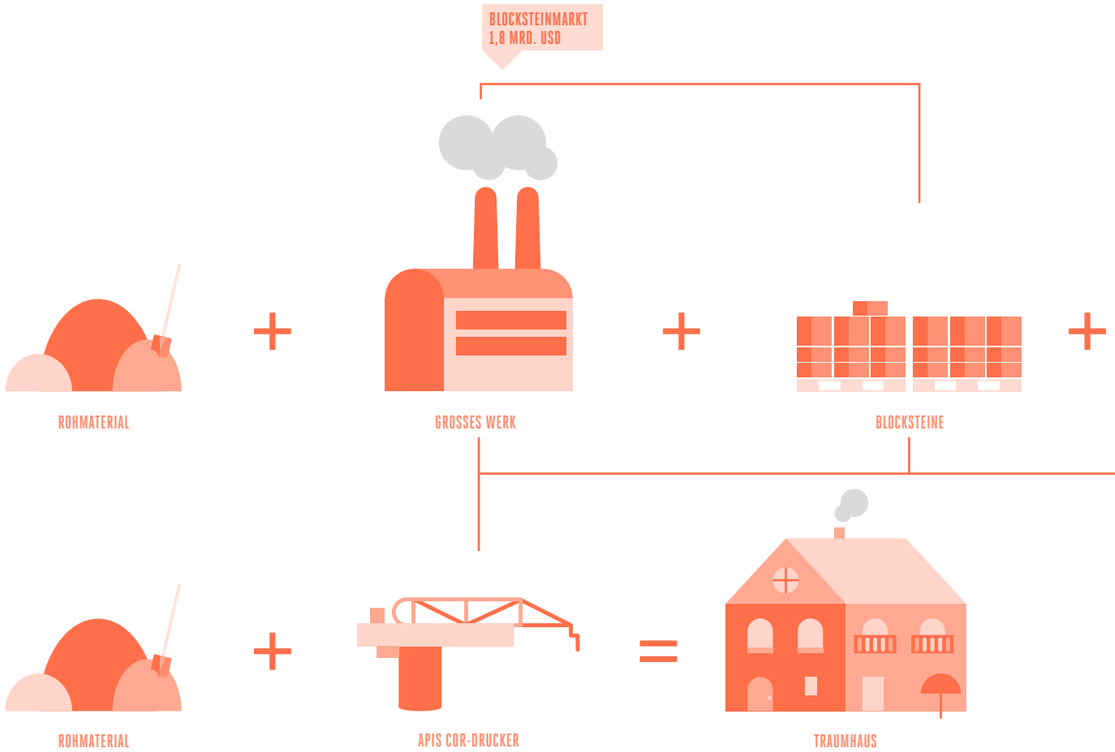


Abb. 8

Anlage für den 3D-Druck reduzieren Sie die Logistik und die manuellen Tätigkeiten, entfernen Zwischenhändler aus der Kette. Allein schon deshalb kann der 3D-Druck nicht teurer sein als traditionelle Verfahren. Nicht zu vergessen sind auch solche zusätzlichen Pluspunkte wie die Vermeidung von Bauschutt, Zeitersparnis und neue architektonische Möglichkeiten.

»DAMIT DIESE TECHNOLOGIE VERBREITUNG FINDET UND SICH AKTIV AN DEN MÄRKTEN DURCHZUSETZEN BEGINNT, MÜSSEN ALLERHAND PROBLEME AUS VÖLLIG VERSCHIEDENEN WISSENSCHAFTSBEREICHEN GELÖST WERDEN.«

Ich denke, alle wissen, dass die Ziegel- und Baustoffindustrie ein großer milliardenschwerer Markt ist. Wenn Sie daher Aktien an Ziegel- oder Baustoffwerken besitzen, können Sie bereits an deren Verkauf denken. Ich glaube, das wird für viele eine große Überraschung.

Herausforderungen

Perspektiven und Lösungsmöglichkeiten sind hervorragende Sachen, die uns zwingen vorwärts zu gehen. Aber wir haben bereits heute Arbeit zur Genüge. Damit diese Technologie Verbreitung findet und sich aktiv an den Märkten durchzusetzen beginnt, müssen allerhand Probleme aus völlig verschiedenen Wissenschaftsbereichen gelöst werden.

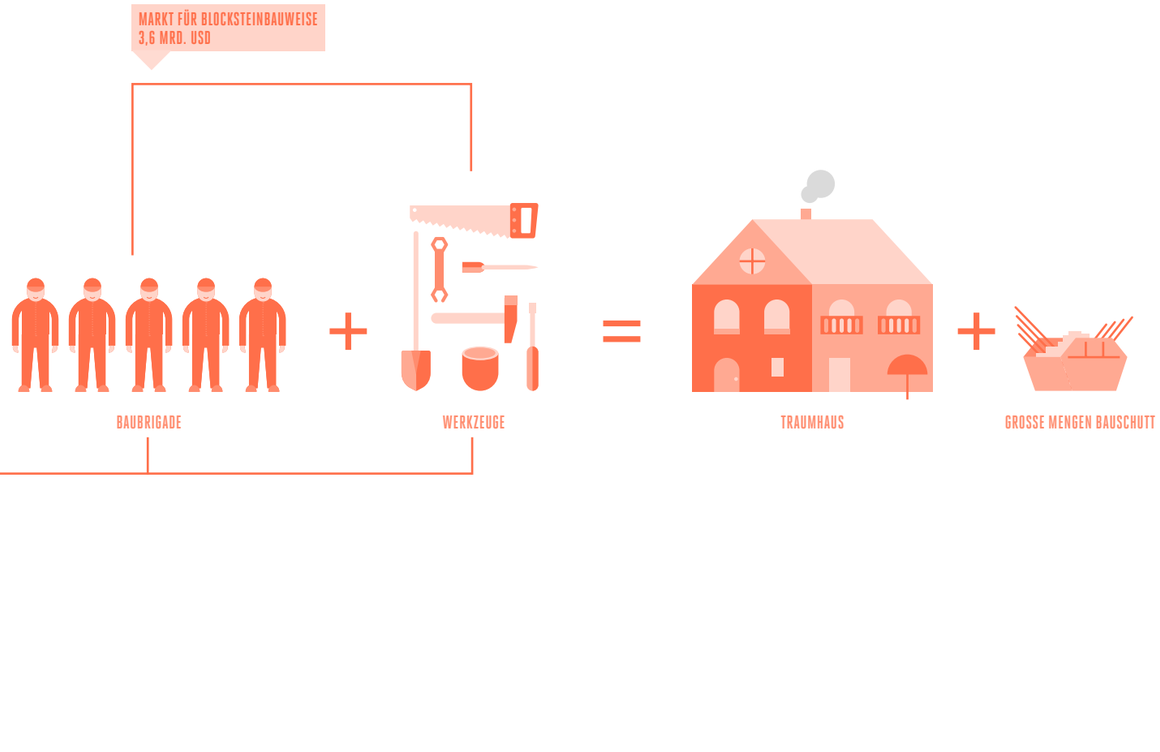
Hier würde ich zwei grundlegende Herausforderungen sehen:

1. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind die Anlagen wie Musikinstrumente, auf denen man noch spielen lernen muss. Deshalb muss ein preisgünstiger funktioneller 3D-Drucker entwickelt werden, der unter schwierigen Baustellenbedingungen arbeiten kann. Dabei muss zudem der Automatisierungsgrad des 3D-Druckers maximiert werden, um die Anforderungen an die Qualifikation des Bedienungspersonals zu reduzieren.

Die Lösung dieser Aufgabe liegt an der Schnittstelle zwischen Software und Mechanik. Und der Materialaufwand für die Anlage ist vergleichbar mit einem Auto, sodass wir es schon bei der ersten Herausforderung mit einem Start-up von einer Komplexität wie im Automobilsektor zu tun haben.

2. Die zweite Herausforderung besteht darin, den 3D-Druck im Bausektor für Projektanten und Architekten verständlich zu machen, denn jedes Bauvorhaben beginnt mit der Projektierung.

Soweit mir bekannt ist, existieren bislang noch keine Methoden für die Kalkulation von 3D-Druck-Konstruktionen. Für die Lösung dieser Probleme sind umfangreiche Arbeiten zur Erforschung von 3D-Druck-Materialien und deren Eigenschaften notwendig, die dann die Grundlage für Methoden zur Projektierung und Kalkulation bilden.
Derzeit arbeiten wir aktiv an der Lösung dieser Aufgabe und setzen uns folgende Ziele:



Bis Ende 2018 die Präsentation einer Lösung für den Druck eines kompletten Hauses mit Fundament, Zwischendecken und Dach. Bis 2019 die Entwicklung einer Lösung für die Nutzung des 3D-Drucks zum Bau von mehrgeschossigen Häusern sowie die maximale Erhöhung des Automatisierungsgrads, um die Anlage weitgehend autonom zu machen und damit unserem Traum näher zu kommen – Bauen außerhalb unseres Planeten.



Nikita Chen-yun-tai war von Kindesbeinen an von der Robotik angetan. In der 11. Klasse schrieb er Programme für den automatischen Handel auf dem internationalen Devisenmarkt und verdiente zu dieser Zeit bereits sein erstes großes Geld. Im Alter von 18 Jahren eröffnete er seine erste Firma, Cutit, die Metall-CNC-Maschinen herstellte, wo er als CEO und Chefingenieur tätig war. Später realisierte er erfolgreich mehrere große Bauaufträge im Rahmen der Olympischen Spiele 2014 in Sotschi. Im Jahr 2015 entwickelte Nikita den ersten mobilen 3D-Drucker und gründetet die zwischenzeitlich weltbekannte Apis Cor Company, die 2017 das erste Wohnhaus gedruckt hat. Nikita verfügt über umfangreiche Kenntnisse in den Bereichen Robotik und Materialwissenschaft. Er ist CEO und Chefingenieur von Apis Cor.