

# Automatisierung, Gestaltung und sozialer Faktor

An der TU Eindhoven forscht und lehrt Cristina Nan über 3D-Druck, insbesondere über den von Ton. Das Verfahren zeichnet sich durch eine hohe Nachhaltigkeit und ein Direktrecycling aus. Für die Entwicklung der Designs nutzen sie und ihr Team künstliche Intelligenz.

Von Robert Mehl



Bilder: Robert Mehl

Ausdruck des Studienkörpers: Scheitert der Druck, müssen die Studierenden ihr Design überarbeiten.

Im Spätsommer 2022 hat Cristina Nan von der TU Eindhoven (TU/e) den Schwerpunkt ihrer Forschung und Lehre zum 3D-Druck von Beton zunehmend auf den von Ton verlagert. Tatsächlich lässt sich Ton aufgrund seiner geringeren Frühfestigkeit und höheren Plastizität leichter ausdrucken. Kritisch im Blick haben muss man hingegen die längere Abbindezeit. Bei einem zu schnell gefahrenen Druckvorgang kann sich der produzierte Körper anhand seines Eigengewichtes de-

formieren – oder gar kollabieren. Doch anders als beim Betondruck ist das weniger tragisch: Man zerkleinert oft mit blossen Händen das misslungene Objekt, füllt es in einen Behälter und befeuchtet dieses anschliessend. An der TU/e beschickt man mit der Tonmasse dann einen eigens angeschafften, industriellen Pizzabrotmischer. Der knetet die teigige Rohmasse in rund 45 Minuten durch, dann wird sie über eine Pumpe erneut zum 3D-Drucker gefördert und erneut «verdruckt». Beim Kneten der

druckfähigen Tonmasse in dem Grossmischer erfolgt auch – sofern gewünscht – die Zugabe von Farbpigmenten. Auf eine Zugabe von Additiven, wie im Betondruck üblich, verzichtet Prof. Nan beim Tondruck hingegen grundsätzlich.

## 3D-Druck von Beton

An der TU/e werden viele Testkörper aus Beton von dem in Eindhoven ansässigen 3D-Druckdienstleister Vertico ausgeführt. Das von Volker Ruitiga gegründete und ge-

führte Unternehmen arbeitet mit einem ABB-Roboter, der zusätzlich auf einer Schiene bewegt werden kann. Damit wird sein Aktionsradius von radial etwa 3,50 Meter in einer Dimension auf über 10 Meter erhöht. Damit wäre es grundsätzlich möglich, ein Wandelement von etwa 3,50 Meter Höhe und circa 10 Meter Länge zu drucken. Der eigentliche Betondruckkopf ist eine Eigenentwicklung der Firma. Über einen Schlauch ist dieser mit einer digital gesteuerten Mischanlage verbunden, in der der Druckmörtel kontinuierlich frisch angesetzt wird. Dazu wird aus einem kleinen, unmittelbar danebenstehenden Silo Trockenmörtel über einen Schneckenförderer hinzugegeben und Additive – wie zum Beispiel Härter – automatisch beigefügt. Immer wieder schaltet sich ein Vibrator zu, der über einen Rüttel-effekt dafür sorgt, dass Luft aus der Mischung entweichen kann. Der Druckkopf kann mit verschiedenen Düsenöffnungen durchmessern arbeiten. So sind Betonspuren zwischen 20 – 40 Millimeter darstellbar. Die Druckgeschwindigkeit beträgt dabei etwa 150 Millimeter pro Sekunde. Der Druckkopf beschreibt einen geschlossenen Rundkurs, bei dessen Abschluss der Roboter die Düse um die Schichthöhe anhebt und dann die Figur erneut abfährt. An einem normalen Arbeitstag werden so etwa 600 – 700 Kilogramm Trockenmörtel verarbeitet.

### 3D-Druck von Ton

Maschinell unterscheidet sich der 3D-Druck von Ton zu Beton vor allem durch eine Stop-and-go-Mechanik im Druckkopf. Dadurch kann der Prozess abrupt ausgesetzt, die Position gewechselt und dann sofort weitergedruckt werden. So ist es – wie mit einem einfachen Kunststofffadendrucker – möglich, Verästelungen, Verflechtungen oder Perforationen in Ton zu erzeugen. Deshalb beschäftigt sich Cristina Nan in ihrer Lehre bislang vor allem mit Rundsäulen und vasenartigen Körpern.

Dabei schult sie ihre Studierenden zunächst in einer organisch-amorphen Formfindung, bei der es zu beachten gilt, wie dieses Design ausgedruckt werden kann. Scheitert das finale Ausdrucken des Studienkörpers, werden zunächst mögliche Stellschrauben (Druckgeschwindigkeit, Düsendurchmesser, Wassergehalt des Tons) optimiert. Führt dies jedoch immer noch nicht zu einem erfolgreichen Ausdruck, dann müssen die Studierenden ihr Design hinsichtlich seiner Machbarkeit überarbeiten.

### Formfindung mittels KI

Die Studierenden von Nan entwickeln das Design ihrer Tonobjekte mit Hilfe künstlicher, respektive artifizieller Intelligenz (KI). Dabei relativiert die Professorin die Wirkmächtigkeit dieser Werkzeuge für ein reales Design. Denn die Arbeitsweise die-

ser Programme – in ihrem Falle war es bislang der Anbieter [www.midjourney.com](http://www.midjourney.com) – ist immer gleich: Eine statistische Software hat Milliarden im Internet verfügbarer Bilddaten ausgewertet und miteinander abgeglichen. Für das Generieren eines Bildes formuliert der Nutzer in der Eingabemaske einen Satz, einen so genannten Prompt, der das gewünschte Ergebnis beschreibt. Der Prompt könnte hier etwa «Architektur, Lehm-bau, organische Formen, Fassade» lauten. Je nach der Leistungsfähigkeit des gebuchten Abonnements bei dem Anbieter der Datenbank wirft das Programm dann eine bestimmte Anzahl darauf passender, artifizieller Bildmotive aus. Für den Nutzer startet nunmehr ein Wechselspiel aus Sichten, Auswählen, Ergänzen oder Verändern der Prompt-Eingabe. Nan stellt fest, dass man sich zu diesem Entwurfszeitpunkt immer noch in der Inspirationsphase befindet. Diese artifiziellen Bilder sind nichts anderes als abstrakte Ideenvisualisierungen, lediglich ihre vermeintlich hohe Detaillierung verleitet zu der Annahme, dass es mehr als eine trügerische Illusion ist. Tatsächlich basieren diese Impressionen ausschliesslich auf statistischen Wahrscheinlichkeiten; es sind sozusagen dumme Pixelansammlungen. Denn zu den perfekt gestylten Ansichten – zum Beispiel von Architektur oder Fassaden – gibt es weder Grundrisse noch Schnitte und selbst als Kulissen wären sie



Der Ausdruck der Betonsäule hat begonnen.



Mit dem ABB-Roboter wächst sie in die Höhe.



Die Betonröhre ist fertig.



Bilder: Robert Mehl



Vierfarbige, im 3D-Tondruckverfahren an der TU/e erstellte Studierenden-Objekte. Die Ausdrücke sind nicht gebrannt.



Gedruckt wird mit so genannten Delta-Druckern, von denen der Grösste bis zu einer Höhe von 1,10 Meter ausplotten kann.

kaum zu gebrauchen, da sie keinerlei Dimensionen aufweisen. In einem weiteren, nunmehr von der KI völlig abgekoppelten Schritt beginnt jetzt ein Rationalisieren. Der Designer muss kognitiv ein Konzept entwickeln, wie er die zweidimensionale Version in eine realisierbare, dritte Dimension überführt. Diese Transferleistung kann derzeit (noch) keine künstliche Intelligenz leisten. Ein Mensch muss aus den Bildvisionen Grundrisse und Schnitte entwickeln und zudem eine Bauweise festlegen. Und bei dieser Ausarbeitung kann sich der Entwurf natürlich auch weit von dem KI-Vorschlag entfernen.

Bei Nan steht natürlich die Bauweise fest: Es muss ein Tondruck sein. Dabei gilt es die Besonderheiten dieses Produktionsverfahrens zu beachten. So entwickelte ein Student einen tönernen Wohnturm mitsamt der dazugehörigen Grundrisse und Schnitte. Der Druck mit Hilfe des grossen Delta-Druckers des Herstellers WASP scheiterte jedoch an dem beim 3D-Druck

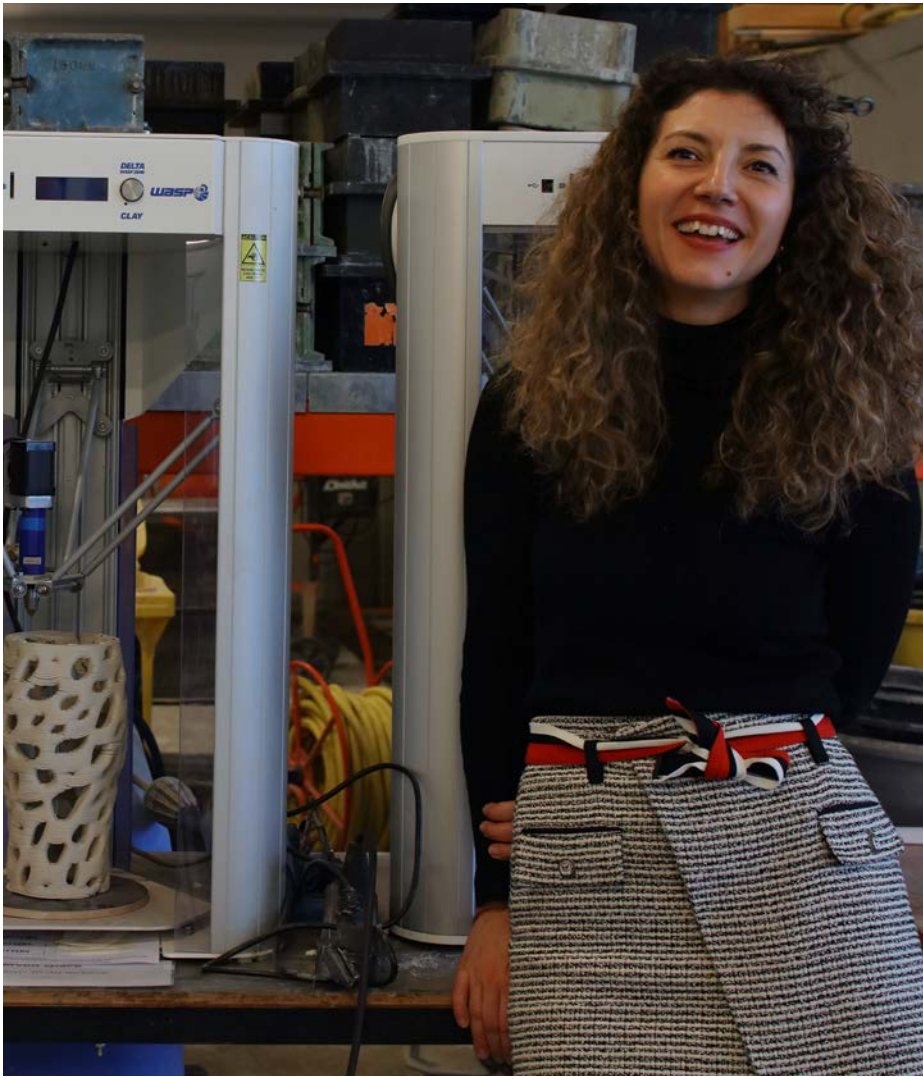


Der fertige Plott. Das Studierenden-Objekt soll als Bank auf dem Universitätsgelände aufgestellt werden.

unvermeidlichen Torsionsspinn. So weisen geschichtet aufeinandergelegte Strukturen, ähnlich einem Hanfseil, einen latenten Drall in Druckrichtung auf. Tondrucke mit einer geringen Frühfestigkeit neigen entsprechend dazu sich zu verdrehen, weshalb das Plottdesign umfassend überarbeitet werden musste. So wurde ein Wendepunkt in dem 3D-Druckrundkurs festgelegt. Bis zu diesem Punkt wurde die äussere Wandfläche gedruckt, dann beschrieb der Drucker eine 180 Grad-Kurve und führte die Innenwandfläche in Gegenrichtung aus, bis er sich von der anderen Seite her diesem Wendepunkt erneut näherte. Im Design ergab dies eine unschöne vertikale Narbe, allerdings kollabierte das Wohnturmmodell nun nicht mehr.

### Zwei Brenngänge

Ist man mit einem Tondruck zufrieden, besteht die Möglichkeit, diesen wie jedes andere Tonprodukt zu brennen. Dafür sind zwei Brenngänge von etwa einer Stunde



Professorin Cristina Nan von der TU Eindhoven vor einem 3D-Deltadrucker.

Dauer bei jeweils 1100 Grad Celsius erforderlich. Grundsätzlich ist der Tondruck im Bereich des Töpferns anzusiedeln, da alle Ausgangsmaterialien seit vielen Jahrzehnten industriell erstellt, unproblematisch online beschafft und ohne eine weitere Aufbereitung direkt verdruckt werden können: Das gilt für Ton, Lehm und sogar auch für Porzellan!

Während Porzellan aufgrund seiner höheren Viskosität eine etwas andere Düsenführung und Druckgeschwindigkeit erfordert, können im Lehmdruck auf Kranarmen geführte, temporär aufgebaute Rotationsdrucker vor Ort ganze Kuppelbauten erstellen. Der Prozess erinnert an den Bau des «Prototype #1», jenes visionäre Projekt, das in den 1940er Jahren mit Hilfe der «Urschel Wall Building Machine» im amerikanischen Bundesstaat Illinois entstand und der welterste Betondruck war. Das Baublatt berichtete 2021 in der Ausgabe Nr. 21 ausführlich darüber. Der grosse Vorteil beim Lehmdruck – analog

zum Lehm- und Ziegelbau – ist, dass der Baustoff nicht gebrannt werden muss, um wasserdicht zu sein: Lehm trocknet bei entsprechenden Wetterbedingungen gut ab und behält die Form, sofern die Bauweise einem übermässigen Schlagregenbefall der Wände entgegenwirkt. Lehm- und Ziegelbau ist eine der archaischesten und nachhaltigsten Bauweisen überhaupt. Tatsächlich ist sie bis zum heutigen Tag die weit Verbreitetste auf der ganzen Welt. Gerne zeigt Prof. Nan in ihren Vorlesungen eine Folie, die benennt, dass noch immer 30 Prozent der Weltbevölkerung in Lehm- und Ziegelbauten wohnt.

Bislang brennt die TU/e die Werkstücke aus Ton nicht. Begründet wird dies mit dem enormen Energieaufwand und den damit verbundenen hohen Kosten. Tonbrände wiegen den damit erreichbaren Vorteil nicht auf. Denn ähnlich wie Pappmodelle, die ja ebenfalls nicht mit Wasser in Berührung kommen sollten, dienen die Tonmodelle in erster Linie nur der Präsentation einer gestalterischen Idee. Nichtsdestotrotz

plant die TU/e mittelfristig die Anschaffung eines grösseren Brennofens, der es ermöglicht, bis zu 1,10 Meter hohe Objekte zu brennen, was der Produktionshöhe des aktuell grössten Tondruckers der TU/e entspricht. Denn langfristig sind auch Studien zu tonernen Fassadenelementen geplant, für deren praktische Eignung Klimatests an gebrannten Tondruckelementen durchgeführt werden müssen.

### Menschliche Komponente

Die menschliche Komponente hat in der Forschung von Cristina Nan einen besonderen Stellenwert. Sie unterscheidet, wo der 3D-Druck eine sinnvolle Ergänzung und wo der Druck reiner Selbstzweck ist. Ihr geht es nicht um eine ultimative Automatisierung. Sie untersucht vielmehr den Einfluss der menschlichen Arbeitskraft und insbesondere des intuitiven Wissens der Techniker auf die Produktqualität. Schliesslich beschäftigt sie sich mit den gesellschaftlichen, soziokulturellen und nachhaltigen Auswirkungen im Zusammenspiel von humanoider und robotischer Arbeitskraft. ■

INSERAT

Atmen Sie  
bessere Luft  
mit Abluft!



ANTARES®

LÜFTER

Info  
Ohnsorg Söhne AG  
Knonauerstrasse 5  
Postfach 332  
6312 Steinhausen

Tel. 041 747 00 22  
Fax 041 747 00 29

www.ohnsorg-soehne-ag.ch  
info@ohnsorg-soehne-ag.ch

Schweizer Qualitätsprodukt  
43053