

LANDTAG
NORDRHEIN-WESTFALEN
17. WAHLPERIODE

STELLUNGNAHME
17/2420

A02

Stellungnahme

der

Ingenieurkammer-Bau Nordrhein-Westfalen

zum Bericht
der Landesregierung

„Bauen im 3D-Druck“

- Vorlage 17/2934 -

Die Ingenieurkammer-Bau Nordrhein-Westfalen (IK-Bau NRW) vertritt auf der Grundlage des Baukammergesetzes in der Fassung vom 9. Dezember 2008 in der Organisationsform einer Körperschaft öffentlichen Rechts die berufspolitischen Interessen der im Bauwesen tätigen mehr als 10.000 Ingenieurinnen und Ingenieure in Nordrhein-Westfalen. Darüber hinaus erfüllt sie auf gesetzlicher Grundlage Aufgaben der mittelbaren Landesverwaltung und untersteht insoweit der Aufsicht durch das Ministerium für Heimat, Kommunales, Bau und Gleichstellung des Landes Nordrhein-Westfalen.

Die Fraktionen im Landtag von Nordrhein-Westfalen von CDU, FDP und Bündnis 90/Die Grünen haben für die 80. Sitzung des Ausschusses für Heimat, Kommunales, Bauen und Wohnen am 17. Januar 2020 gemeinschaftlich einen Bericht über die *„Möglichkeiten, Perspektiven und Chancen durch den Bau im 3D-Druckverfahren“* beantragt, den das Ministerium für Heimat, Kommunales, Bau und Gleichstellung mit der Vorlagennummer 17/2934 vorgelegt hat. Daraufhin hat der Ausschuss die Durchführung einer Sachverständigenanhörung zum Gegenstand der ministeriellen Berichterstattung beantragt.

Ausweislich des Berichts sieht die Landesregierung erhebliches Potenzial für den Einsatz der 3D-Drucktechnik im Bereich der Gebäudeerrichtung.

Insgesamt werden in dem Bericht in den Kategorien Möglichkeiten, Perspektiven und Chancen Vorteile in folgenden Bereichen subsummiert:

- Freiheiten bei Gestaltung und Konstruktion
- Weiterentwicklung und Einsatz von Robotik/Automation im Bauwesen
- Hebung von Potenzialen in der Ressourceneffizienz beim Bauen
- Etablierung eines technologie- und branchenübergreifenden Industriezweigs für moderne Fertigungsverfahren in Nordrhein-Westfalen
- Implementierung von 3D-Druck-Potentialien in die Planungsmethode des Building Information Modelings (BIM)
- Landesförderung von Grundlagenforschung und 3D-Druck-Praxis etwa durch den Experimentellen Wohnungsbau

Nachfolgend nimmt die Ingenieurkammer-Bau zu diesen Punkten Stellung wie folgt:

Gestaltung und Konstruktion:

Perspektivisch ist es zutreffend, dass der sogenannte 3D-Druck vielfache Gestaltungs- und Konstruktionsmöglichkeiten im Bauwesen eröffnet. Unter Architekturgesichtspunkten zeigen aktuelle Erfahrungen aus Versuchen in überschaubaren Anwendungsbereichen abhängig von der zum Einsatz gelangenden Drucktechnik und von unterschiedlichen Druckmaterialien ein hohes Maß an architektonischer Individualität. Vergleichbar gilt dies auch für den konstruktiven Bereich, der primär eine Domäne der im Bauwesen planenden Ingenieur*innen ist.

Auf der Grundlage bisher verfügbarer Drucktechniken zeigen sich aber gegenwärtig Beschränkungen für hochkomplexe oder stark durch Biege- bzw. Zugkräfte belastete Bauteile (die etwa im Bereich von Brückenbauten oder anspruchsvoller anderer Hochbauten eingesetzt werden). Für diese sind bisher zerstörungsfreie Funktionstestmethoden nicht anwendbar. Unter anderem folgt daraus, dass tragende Teile in großem Maßstab durch die 3D-Drucktechnik gegenwärtig noch nicht sinnvoll hergestellt werden können. Hingegen sind geometrisch komplexe, aber bewehrungsfreie Bauteile bereits sehr gut zu fertigen. Es zeigt sich, dass in konstruktiver Hinsicht für komplexe Bauteile weniger deren aufwändige Fertigung im 3D-Druck-Verfahren ein Problem sind als der Nachweis ihrer Einsatzfähigkeit. Unter dem Blickwinkel der rein technischen Anwendbarkeit von 3D-Druck-Technologien kommt es weniger darauf an, ob es sich bei der Herstellung um Gleichteile oder aufgrund ihres vorgesehenen Einsatzzwecks um verschiedenartige Bauteile handelt. Entscheidend ist das Bauteilvolumen, da gleiche Volumina im Wesentlichen auch gleiche Herstellungsaufwände verursachen. Demgegenüber spielt die Bauteilgeometrie eine nachgeordnete Rolle. Grundsätzlich ist dies eine Voraussetzung dafür, unabhängig von Stückzahlen individuelle Bauteile herzustellen. Dies ist insbesondere im Bereich des Bauwesens von Bedeutung, weil aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen, die an Ingenieurbauwerke gestellt werden, bislang kaum Serienfertigungen möglich sind. Ein gutes Beispiel hierfür ist der Brückenbau in Nordrhein-Westfalen. Hier konnten bisherige Überlegungen für die Fertigung von Brückenbauwerken nach dem Baukastensystem unter Aneinanderreihung gleicher Module („LEGO-Brücken“) nur in Modellvorhaben und im kleinen Maßstab umgesetzt werden, weil die geographischen/geomorphologischen Gegebenheiten in Nordrhein-Westfalen unterschiedliche Ansprüche stellen (vergleiche Brückenbauwerke der A45 „Sauerlandlinie“ und die Rheinquerung A1-Brücke Leverkusen einschließlich der zugehörigen Vorlandbrücken). Gegenwärtig bedingen gerade diese hochgradig differenten Ausgangslagen noch ein hohes Maß an manueller Ausführung der Bauwerke vor Ort. Dies gilt selbst wenn bereits heute Halbfertigbauteile bzw. Bauwerks-Module vor Ort hergestellt werden können oder industriell vorgefertigte Fabrikbauteile der Baustelle just in time zugeführt werden.

Die potenziell hochflexible Produktion von einfachen oder komplexen Bauteilen für Ingenieurbauwerke oder Gebäude kommt auch in den unterschiedlichen Fertigungsmethoden zum Ausdruck, die technisch bereits heute zur Verfügung stehen.

In diesem Zusammenhang ist die landläufig verbreitete Bezeichnung „3D-Druck“ eigentlich nicht ganz zutreffend. Präziser ist die Beschreibung als „*additive Fertigung*“, die den technischen Vorgang des schichtweisen Aufbaus von Bauteilen richtig beschreibt. Vorrangig können dabei drei „Druckverfahren“ genannt werden, die im besonderen Fokus der Erforschung und Erprobung stehen:

Das bekannteste (gängigste) Verfahren ist das sogenannte **Extrusions-Verfahren**. Dabei werden im Bauprozess Frischbetonprodukte durch einen beweglichen Roboterkopf in Linien übereinandergeschichtet. Aus dem zügig abbindenden Material entstehen die Strukturen, die nach einer programmierten Befehlskette durch die beschriebene Schichtung des Materials produziert (gedruckt) werden sollen. Der Vorteil dieser Methode besteht unter anderem darin, dass es die Herstellung großer Bauteile in vergleichsweise kurzer Zeit erlaubt. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass je nach verwendeten Baustoffkomponenten entweder auf eine Schalung (wie bislang bei der Betonierung von Bauteilen oder Segmenten mithilfe von Ortbeton auf der Baustelle erforderlich) ganz verzichtet werden kann, oder aber als Schalelemente fungierende Bauteile immanenter Bestandteil der späteren Konstruktion werden können. Diese werden im Druckverfahren durch entsprechenden Auftrag des Materials teilweise oder ganz umschlossen. Dies kann potenziell konstruktive Vorteile bei Bauteilen bieten, an die durch auftretende hohe Kräfte besondere lastabtragende und/oder aussteifende Anforderungen gestellt werden.

Als weiteres additives Herstellungsverfahren besteht der **Druck im Partikelbett**. Hier wird ein trockenes körniges Schüttmaterial auf einer Ebene aufgetragen und durch die entsprechende Besprühung mit einem Bindemittel wie Zement eine aufwachsende Struktur generiert. Der Vorzug dieser Variante besteht darin, dass sie in besonderer Weise geeignet ist, feine Strukturen aufzubauen, die, anders als beim Extrusionsverfahren, der Schalung oder Abstützung bis zur vollständigen Aushärtung bedürfen. Insbesondere aus dem so beschriebenen Verfahren ergeben sich die geschilderten architektonischen gestalterischen Freiheiten im Baubereich.

Ein drittes Verfahren, das sogenannte **Shotcrete 3D Printing (SC3DP-Verfahren)** verfolgt die schichtweise Aufspritzung von Betons mit teilweise unterschiedlichen Materialanforderungen. Dies kann etwa für die Herstellung von Konstruktionen nützlich sein, die unterschiedliche Stärken erfordern. Bei diesen Verfahren entscheidet die Laufgeschwindigkeit des auftragenden Roboterarms über die Stärke der jeweils in einem Durchgang aufgetragenen Baustoffe. Die Breite des Auftrags wird über variable

Höhenpositionierung des auftragenden Sprühkopfes gesteuert. Eine weitere Variable bei dieser Form des 3D-Drucks ist die Sprühstärke, die neben den Eigenschaften des verwendeten Druckmaterials mit darüber entscheidet, wie stark der Auftrag auf der darunterliegenden Schicht anhaftet. Dieses komplexere Verfahren ermöglicht nicht nur horizontale Druckvorgänge (in Querstreifen), sondern gestattet auch komplexere additive Fertigungsverfahren, mittels derer komplexere Bauteile gestaltet werden können, die teilweise auch eine vertikale Verarbeitung (in Längstreifen) oder sogar eine Über-Kopf-Herstellung erfordern.

Grundsätzlich zeigen die bisher bekannten und erprobten Drucktechniken unter Laborbedingungen, dass sie die Herstellung von einfachen und komplexen Bauteilen, Modulen oder von ganzen (bisher testweise sehr einfachen Modell-)Gebäuden bei einem hohen architektonischen und konstruktiven Freiheitsgrad erlauben, sowohl im Hinblick auf die Bauteilgröße als auch auf die Bauteilgeometrie. Dennoch begegnet die praktische Umsetzung gegenwärtig noch erheblichen Problemen. Dies gilt für die Herstellung tragender Bauteile, im Hinblick auf die Bereitstellung und digitale Aufbereitung der Druckdaten, die Bandbreite der einsetzbaren Materialien und hinsichtlich eines wirtschaftlichen Einsatzes der zur Verfügung stehenden Technik. Die bisherigen Forschungen auf diesen Gebieten belegen, dass es weitere Forschungsdesiderate in allen genannten Bereichen gibt, die eine besondere Forschungsförderung rechtfertigen.

Weiterentwicklung und Einsatz von Robotik/Automation im Bauwesen

Dies gilt auch für die Weiterentwicklung und den Einsatz entsprechender robotischer Anlagen zur Verarbeitung der Werkstoffe, mit denen gedruckt werden soll. Grundsätzlich gibt es hier zwei Lösungen, mittels derer auch bisher schon konventionelle Bauteile-/Bauwerksteile oder -module im industriellen Maßstab bzw. in serieller Fertigung hergestellt werden. So lassen sich sowohl einfachere, aber auch komplexere Teilprodukte fabrikmäßig herstellen und danach zum Einbauort verfrachten. In Abhängigkeit von der Bauteilgröße werden hierfür entsprechend große Druckanlagen benötigt. Grundsätzlich können diese konstruiert und in Werkshallen eingesetzt werden.

Die zweite Möglichkeit besteht darin, die benötigten Bauteile oder Module für ein Bauwerk *in situ* herzustellen. Dies geschieht bereits heute in einer Art Vorläuferversion etwa im Brückenbau dadurch, dass an Ort und Stelle entweder vorgeschaltete Bauelemente oder vorgefertigte Bauteile in Ortbetonbauweise ergänzt oder zu Modulen verbunden werden. Allerdings geschieht dies gegenwärtig noch in der Hauptsache durch Handwerksarbeit. Dessen ungeachtet wurden aber bereits auch Modelle getestet, bei denen die Bauwerksteile oder Gebäudeteile im Extrusionsverfahren mithilfe herkömmlicher fahrbarer Betonpumpen gedruckt wurden. Diese wurden mit einem entsprechenden Druckkopf ausgerüstet, der mit-

hilfe programmierter Steueralgorithmen dosiert Baustoffe ausbrachte. Dabei wurden verschiedene Betons als Ersatz für Mauerwerksarbeiten in der Größenordnung von Einfamilienhäusern getestet, da die sinnvollsten Möglichkeiten für Wandkonstruktionen im Extrusionsverfahren im bis zu fünfgeschossigen Wohnungsbau bestehen. Abgeleitet wurden aus den Erfahrungen, dass Potenziale für eine signifikante Reduzierung von Baukosten und hinsichtlich der Ausführungszeiten vorhanden sind.

Hebung von Potenzialen in der Ressourceneffizienz beim Bauen

Jenseits dieser festgestellten Vorteile bei der Reduktion von Baukosten durch die eingesetzte 3D-Drucktechnik und die Verkürzung der Ausführungszeiten ergeben sich jedoch besondere Herausforderungen im Hinblick auf die je nach Bauwerkstyp und -anforderung erheblich abweichenden Materialanforderungen der zu verwendenden Betons. Grundsätzlich erwachsen aus dem 3D-Druckverfahren bereits sehr eigene Anforderungen an den Baustoff, der gegensätzliche Eigenschaften erfüllen muss. Neben einer möglichst leichten Ausbringbarkeit/Verarbeitbarkeit müssend die zum Einsatz kommenden Betonmischungen aber zugleich zügige Abbindeigenschaften aufweisen, die ein fortlaufendes bauteilbezogenes Aufeinanderschichten des Druckmaterials erlauben. Diese Eigenschaften sind umso wichtiger, wenn der 3D-Druck in schalungsfreier Errichtungsweise erfolgen soll, da sich durch den Verzicht auf eine Schalung erhebliche Kosten bei Material und Arbeitskosten einsparen lassen. Entsprechend bedarf es also einer intensiven Beforschung geeigneter 3D-Betons für unterschiedliche Anwendungen. Die damit verbundenen Schwierigkeiten ergeben sich weniger daraus, dass sich geeignete Mischungen finden lassen. So wurden etwa bereits unterschiedliche Mischungen entwickelt, aus denen Leichtbetons unter Beimischung etwa von Holz- beziehungsweise anderen Zellstofffasern mit guten Dämmeigenschaften hervorgingen, die sich insbesondere für den Bau energieeffizienter und raumklimatisch vorteilhafter Wohngebäude eignen. Probleme ergeben sich insbesondere aber daraus, dass sich die so generierten Verbundwerkstoffe am Ende des Gebäudezyklus nur sehr schwierig oder nach heutigen Maßstäben technisch noch gar nicht als recycelbar erweisen und eine gesonderte Entsorgung/Deponierung erfordern. Besonders zeigt sich dies bei Konstruktionen, bei denen etwa aus Stabilitätsgründen Polycarbonate beigemischt werden, die zwar sehr gute statische Eigenschaften mit sich bringen, aber ebenfalls keine Trennung der Gemische nach dem Abbruch der Gebäude/Bauwerke zulassen. Darüber hinaus gibt es bislang keine tauglichen Baustoffe für 3D-Druckverfahren, die in nennenswertem Umfang Recyclingbaustoffe als Beimischungen oder gar als Hauptbestandteil verwenden können und dabei die spezifischen notwendigen Materialeigenschaften für eine volumenstarke Verwendung aufweisen.

Im Bereich der Ingenieurbauwerke rücken darüber hinaus mit Blick auf deren Lebensdauer zunehmend Materialqualitäten in den Blick, die eine besondere Langlebigkeit versprechen. Dies kann wiederum

durch Hochleistungsbetons erreicht werden, die durch ihre gezielten Beischläge besondere Materialqualitäten in sich vereinigen. Während hohe Belastungsfähigkeit durch Druckkräfte im 3D-Druckverfahren gut gewährleistet werden können, ergeben sich für die Zugkräfte, die im konventionellen Stahlbetonbau durch den entsprechenden Einbau von Baustahlarmierungen ausgeglichen werden, um Rissbildungen im Beton zu begrenzen, noch deutliche Verbesserungspotenziale. Teilweise lässt sich diesen weniger gut ausgeprägten Eigenschaften durch verbesserte Materialqualitäten beim Beton begegnen. Allerdings dürfen nach den heutigen Bemessungsregeln dem Beton für den Nachweis der Tragfähigkeit (anders als beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit) keine Zugkräfte zugewiesen werden.

Insgesamt zeigen die bisherigen Forschungen und Modellversuche gleichermaßen Potenziale für die Einsparung von Baukosten und Bauzeiten auf. Deren Realisierung ist aber im Wesentlichen an die Verfügbarkeit von Baustoffen geknüpft, die geeignet sind, die jeweiligen besonderen Anforderungen an großvolumige Baukörper zu erfüllen und dadurch teilweise höhere Materialkosten zu rechtfertigen. Als ein besonderes Hemmnis weisen hierbei bislang erprobte Musterbaustoffe auf, dass sie, um diese Eigenschaften zu erfüllen, auf besondere Beischläge angewiesen sind. Zumindest bislang sind diese Baustoffe nicht ausreichend recyclingfähig. Insgesamt bedarf es auch hier weiterer anwendungsorientierter und einsatzbezogener Forschung

Implementierung von 3D-Druck-Potentialen in die Planungsmethode des Building Information Modelings (BIM)

Weitere Anstrengungen sind darüber hinaus erforderlich, um zukünftig leichter 3D-druckfähige Befehlsketten aus BIM-modellierten Planungsprojekten generieren zu können. Bisher ist es nicht fehlerfrei möglich, die für eine bauliche Umsetzung in 3D-Druckverfahren erforderlichen Algorithmen aus einer BIM-Planung zu extrahieren. Dabei bietet BIM grundsätzlich Vorteile im Hinblick auf druckrelevante die detaillierte Beschreibung von Bauteileigenschaften, -zusammensetzungen und Materialgüte. Während dies im Bereich kleinformatischer 3D-Drucke grundsätzlich möglich ist, gelingt dies im Bereich BIM-basierten Gebäudeplanungen bislang nicht, weil die hierfür erforderlichen Softwareschnittstellen zwischen den gängigen BIM-Planungssoftwareprodukten und dem für industrielle 3D-Druck-Verfahren gängigen STL-Datenformat (STL=Standard Transformation Language) aktuell nicht geschlossen werden können.

In anderen industriellen 3D-basierten Fertigungsprozessen werden die für das Produkt erforderlichen Konstruktionspläne zunächst mithilfe dreidimensional arbeitender CAD-Programme konstruiert. Die Konstruktionspläne werden dann mithilfe entsprechender Softwaretools des eingesetzten CAD-Programms in einen STL-Code umgewandelt. In einem Folgeschritt gelangt Prüfsoftware zum Einsatz, die es erlaubt Transkribierungsfehler von CAD nach STL zu reparieren. Mithilfe eines weiteren Zwischenschrittes wird

dann durch den Einsatz einer sogenannten „Slicesoftware“ aus dem STL-Code ein G-Code generiert. Dieser G-Code wandelt die Informationen zum Bauteil in alle erforderlichen Druckbefehle um, die eine genaue Produktion des konstruierten Bauteils ermöglichen.

Bezogen auf BIM als Planungsmethode, die in den kommenden Jahren zur etablierten Planungsmethode reifen und flächendeckende Anwendung insbesondere für die Planungen der öffentlichen Hand finden soll, weil sie Lebenszyklusbetrachtungen für das gesamte Bauwerk ermöglicht und Kostenvorteile verspricht, gibt es diese geschlossene Übertragungskette von der Planungsinformation hin zum Druckbefehl noch nicht. Derzeit wird in Forschungen daran gearbeitet, diese Lücke vorrangig durch die Entwicklung von „Slicing-Software“ auf der Basis des BIM-IFC-Standards zu schließen. Gegenwärtig sind diese Forschungsprozesse noch nicht endgültig abgeschlossen und haben noch keinen umfassenden Eingang in die gängigen BIM-Planungssoftwareprogramme gefunden. Hier bestehen ebenfalls weitere erhebliche Bedarfe für Forschung und Softwareweiterentwicklungen.

Etablierung eines technologie- und brancheübergreifenden Industriezweigs für moderne Fertigungsverfahren in Nordrhein-Westfalen

Insgesamt bestätigen die bisherigen Ausführungen ein ganz erhebliches Potenzial für die bauindustrielle Fertigung mittels 3D-Druckverfahren. Voraussetzung für die Etablierung eines technologie- und branchenübergreifenden Industriezweigs bleibt die weitere Forschung und Entwicklung in den aufgezählten Bereichen Robotik, Automatisierung, Material- und Baustoffforschung sowie in der Softwareentwicklung. Es geht nicht nur darum, umsetzungsfähige Planungen durch Ingenieur*innen ermöglicht, sondern auch die Bauausführung durch klein- und mittelständische Bauunternehmungen zu ermöglichen sowie industrielle Fertigungsstrategien von Bauteilen oder Modulen entweder in Fabriken oder vor Ort zu entwickeln.

Landesförderung von Grundlagenforschung und 3D-Druck-Praxis etwa durch den Experimentellen Wohnungsbau

Gleichzeitig bedarf es neben der beschriebenen Grundlagenforschung, die im Bericht der Landesregierung differenziert beschrieben wird, auch der Umsetzungsmöglichkeiten. Insbesondere im Rahmen der Sozialen Wohnraumförderung oder im Bereich des Experimentellen Wohnungsbaus, die durch das Land gefördert werden, stecken, wie im Bericht der Landesregierung beschrieben, entsprechende Potenziale um den 3D-Druck zu fördern. Diese liegen naturgemäß im Geschosswohnungsneubau und ließen sich gegebenenfalls mit architektonisch-gestalterisch wandelbaren Systembaukästen für einen industrialisierten sozial geförderten Wohnungsbau verbinden, der Kostenvorteile dadurch birgt, dass definierte Baugruppen zu unterschiedlichen Gesamtgebäuden kombiniert werden können.



Düsseldorf, den 27. März 2020

Dr.-Ing. Heinrich Bökamp
(Präsident)