

Parametrische Modellierung und additive Fertigung von Betonbauteilen unter Berücksichtigung des Materialeinsatzes anhand eines Praxisbeispiels

Elisabeth Radl, Marc-Patrick Pflieger, Sebastian Geyer, Christian Hölzl

Abstract. Parametrische Modellierung und additive Fertigungstechniken führen in Kombination zu einem kosten- und materialeffizienten Herstellungsprozess. Durch topologieoptimierte Querschnittsformen sowie einer gezielten Materialapplikation verringert sich das erforderliche Material, wodurch eine Schonung der primären Ressourcen sowie eine Reduktion des Eigengewichtes resultiert. Der dafür benötigte Prozess erstreckt sich über mehrere Schritte und wird von verschiedenen Kenngrößen beeinflusst. Parameter bilden dabei beispielsweise die Formgebung des Querschnittes und die Materialzusammensetzung. Unter Berücksichtigung der entsprechenden Faktoren kann ein reibungsloser Druckprozess von konstruktiven Betonteilen erzielt werden. Anhand der Modellierung und Herstellung eines Stufenelements mit aufgelöster Querschnittsform wird dieser Prozess durch ein Praxisbeispiel verdeutlicht. Dadurch soll die Möglichkeit der Serienproduktion von Einzelstücken durch den Einsatz von additiven Fertigungsmethoden im Bauwesen aufgezeigt werden.

Keywords: Additive Fertigung, Beton 3D Druck, Parametrische Modellierung

1 EINLEITUNG

Additive Fertigungsverfahren führen in verschiedenen Branchen, einschließlich der Bauindustrie, zu völlig neuen Möglichkeiten der Produktion. Prototypen, Einzelstücke und Kleinserien können kosten- und materialeffizient hergestellt werden, wodurch Abweichungen von gängigen Standards und Formen wirtschaftlich produzierbar werden. Automatisierte Herstellungsverfahren im Sinne der Digitalisierung von herkömmlichen Vorgängen, die vorwiegend auf manueller Arbeit beruhen, können außerdem dazu beitragen, die Individualität der Architektur und damit auch ihr Erscheinungsbild und die Nutzbarkeit wesentlich zu verbessern.

Insbesondere die Tatsache, dass aus der Herstellung von Beton - größtenteils durch die Produktion des enthaltenen Zements - ein hoher Anteil der vom Menschen verursachten klimawirksamen Gasemissionen resultiert (Studien zufolge handelt es sich um rund 8% der weltweiten CO₂-Emissionen), ist eine gezielte Materialapplikation, entsprechend der statisch-konstruktiven Erfordernis, anstrebenswert. Zuzufolge der Optimierung der Querschnittstopologien verringert sich der Materialeinsatz, wodurch eine deutliche Reduktion des Eigengewichtes sowie eine Schonung der primären Ressourcen erzielt werden kann.

2 ZIELSETZUNG

Im Zuge einer Machbarkeitsstudie, soll das Verhalten von additiv hergestellten faserbewehrten Betonteilen, im Genauen Vorlegestufen für elf Mobile Homes mit unterschiedlichen Höhenanforderungen, in ungeschützter Umgebung aufgezeigt werden.

während des Druckvorganges der Materialfluss, nach derzeitigem Projektstand nicht unterbrochen werden kann und dieser einen kontinuierlichen Prozess darstellt, muss das Modell gewährleisten, dass der Pfad in sich geschlossen ist, damit der Druckvorgang in einem Zug ausgeführt werden kann und somit keine Leerwege entstehen. Dies wird erreicht, wenn der Startpunkt des Pfades gleich dem Endpunkt der jeweiligen Schicht ist. Durch gezielte Unterbrechungen im Modell kann der Pfad diesbezüglich beeinflusst werden.

In der Abbildung 2 ist die aufgelöste Form des Stufenelementes dargestellt. Grundsätzlich setzt sich der Querschnitt aus einer äußeren Umrahmung und einem, der Stützlinie nachempfundenen, Infills zusammen. Um einen geeigneten Druckvorgang zu erreichen, wurde das Infill an der Vorderseite der Stufe durch eine gezielte Unterbrechung geteilt. Sowohl die Umrahmung als auch das Infill weisen eine Stärke von 2,50 cm auf, welche sich durch zwei Druckstränge ergibt.

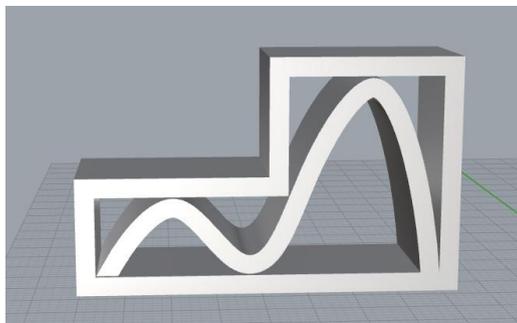


Abbildung 2. 3D-Modell des Stufenelements im STL-Format exportiert

Die einzelnen Modelle sind im STL-Format exportiert und in einer Slicing Software in einen G-Code umgewandelt worden. In der Software Simplify3D wird der Pfad generiert, sowie das Modell, abhängig von der druckbaren Strangdicke, in horizontale Schichten unterteilt. Entspricht das Modell den vorher genannten Bedingungen lässt sich daraus ein sauberer Pfad ohne Leerwege ableiten. In Abbildung 3 ist dieser erzeugte Druckpfad ersichtlich.

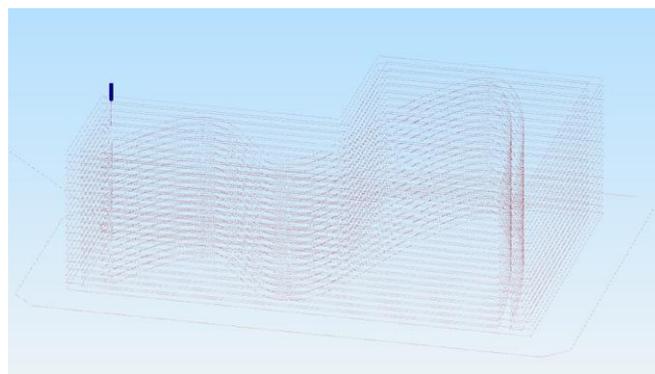


Abbildung 3. Darstellung des Druckpfades des Stufenelements in der Slicer-Software Simplify3D

Anschließend wurde ein eigens entwickelter Grasshopper-Algorithmus verwendet, um die X-, Y- und Z-Werte aus dem G-Code in eine für RobotStudio ausführbare Programmsequenz überzuführen, um so den Druckvorgang durchführen zu können.

Als Material wurde, im Hinblick auf die Eignung für den automatisierten Materialauftrag,

eine eigens konzipierte Mörtelrezeptur herangezogen. Die verwendete Rezeptur basiert auf CEM II, Zuschlagsstoffen mit einem Größtkorn von 0,6 – 2 mm und Mikrosilika. Zur Verbesserung der Materialeigenschaften wurden Fließmittel, Stellmittel sowie Glasfasern beigemischt.

4 ERGEBNISSE

Das parametrische Modell zielt auf die Herstellung von Einzelstücken ab, die auf ihren Anwendungsfall zugeschnitten sind und erhöht somit die Möglichkeiten der freien Gestaltung. Die Herstellung erfolgte in Segmenten mit einer Breite von ca. 33 cm. Durch Aneinanderreihung von drei Elemente inkl. Fugenausbildung lässt sich die geforderte Treppenbreite von 1,00 m erreichen. Aufgrund der Querschnittsoptimierung wird im Vergleich zu konventionellen Betonblockstufen eine Materialeinsparung von rund 48 % erreicht. In der Abbildung 4 ist ein Stufensegment während des Druckvorganges zu sehen. Um die geforderte Höhe von 33 cm zu erreichen, und etwaiges Umkippen, Abscheren zu vermeiden, wurde das Objekt in zwei Schritten gedruckt. Zuerst wurde die untere Hälfte gedruckt, bevor nach einer Wartezeit der Druckvorgang für die fehlenden Schichten fortgesetzt wurde.

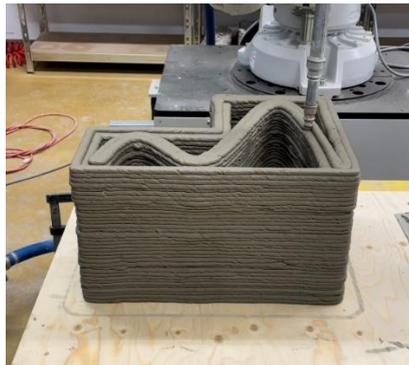


Abbildung 4. Herstellung des Stufenelements mittels Beton 3D Druckverfahren

Nach Erhärten des Betons wurden je Mobile Home drei der Stufenelemente aneinandergereiht versetzt. In Abbildung 5 ist dies ersichtlich.



Abbildung 5. In Drainagemörtel versetzte Stufenelemente

Nachdem die Bauteile mit dem Versetzen der Witterung und Nutzung ausgesetzt wurden, werden in weitere Folge Beobachtungen zur Dauerhaftigkeit der Elemente getätigt. Dadurch kann sowohl die Eignung der Mörtelrezeptur als auch der Querschnittsform selbst bzgl. ihrer Dauerhaftigkeitseigenschaften analysiert werden.

5 REFERENZEN

- [1] Pflieger, M./Hölzl, C.: Materialstudien zur additiven Fertigung von Spannbetonbauteilen. In: 15. Forschungsforum der österreichischen Fachhochschulen. Creating Impact – gemeinsam wirksam werden, (2022), 2022
- [2] Paolini, A./Kollmannsberger, S./Rank, E.: Additive manufacturing in construction: A review on processes, applications and digital planning methods. Additive Manufacturing 30, 2019.
- [3] Wu, P./ Wang, J./Wang, X.: A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry. Automation in Construction, 68, 21–31. 2016.