

Beurteilung der Wärmeleitfähigkeit sowie der Anisotropie von 3D-gedrucktem Leichtbeton

C. Matthäus, D. Weger, Technische Universität München, Ingenieurfaculty Bau Geo Umwelt
Lehrstuhl für Werkstoffe und Werkstoffprüfung im Bauwesen, München, DE

Bei der additiven Fertigung (3D-Druck) werden Objekte Schicht für Schicht durch ablegende oder selektiv bindende Prozesse aufgebaut (vgl. Abbildung 1). Dadurch kann es je nach gewählten Einstellungen zu richtungsabhängig unterschiedlichen Materialeigenschaften kommen.

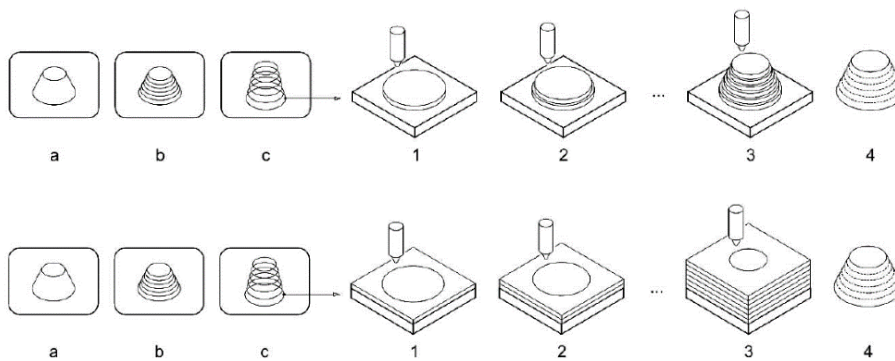


Abbildung 1: Prinzip der additiven Fertigung mit ablegenden (oben) und selektiv bindenden Verfahren (unten) [1]

An der Technischen Universität München wird unter Zusammenarbeit des Lehrstuhls für Werkstoffe und Werkstoffprüfung im Bauwesen und des Lehrstuhls für Holzbau und Baukonstruktion an der Entwicklung von 3D-druckbaren Leichtbetonen geforscht. Dabei wird sowohl ein ablegendes Verfahren (Extrusion) als auch ein selektiv bindendes Verfahren (SCA) untersucht.

Neben anderen Vorteilen gegenüber Normalbeton (z.B. geringerer Lasteintrag, Reduktion des Einsatzes von Sand), ist die Wärmeleitfähigkeit der aus Leichtbeton erzeugten Bauteile dabei von wesentlicher Bedeutung. Um die Bauteile z.B. als Außenwände ohne zusätzliche Wärmedämmung im zentraleuropäischen Klima einsetzen zu können, muss die Wärmeleitfähigkeit möglichst gering sein.

Aus den additiv gefertigten Bauteilen werden zur Prüfung der Wärmeleitfähigkeit und Festigkeit Prismen von 40 mm x 40 mm x 160 mm Länge herausgesägt (vgl. Abbildung 2) beziehungsweise direkt Probekörper dieser Größe 3D-gedruckt. Für die Prüfung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Hot Disk TPS 1500 werden jeweils zwei Probekörper aus demselben Material benötigt, zwischen die der Messsensor gelegt wird. Dazu können entweder direkt zwei Prismen aus demselben Material ausgewählt werden oder das Prisma in zwei bis vier Probekörper zersägt werden, um mehrere Werte für die Wärmeleitfähigkeit zu erhalten.

Daraufhin wird die Passgenauigkeit der Probekörper zueinander überprüft und die Oberflächen ggf. abgeschliffen, um zu vermeiden, dass ein Luftspalt im Bereich des Sensors die Ergebnisse der Messung verfälscht. Anschließend wird der Sensor des Hot Disk TPS 1500 Messgerätes zwischen den zwei Probekörpern durch eine leichte Auflast fixiert.

Für die Prüfung wird ein Sensor mit einem Radius von 6,4 mm (Kapton 5501) verwendet und Wärme mit 50 mW über eine Messzeit von 80 s in die Probekörper eingebracht. Der Abfluss der Wärme wird vom Messgerät erfasst und daraus die Wärmeleitfähigkeit des Materials berechnet. Parallel wird die Raumtemperatur über einen Temperatursensor detektiert, um den Einfluss der Umgebung mit abdecken zu können. Zudem müssen das Alter und der Feuchtegehalt der Probekörper berücksichtigt werden. Die Probekörper werden daher bis zur Prüfung bei Laborbedingungen mit $20\pm 1^\circ\text{C}$ und $65\pm 5\%$ relativer Luftfeuchte gelagert. Die Wärmeleitfähigkeit hängt stark von der Rohdichte des untersuchten Materials ab, wie die Messungen an extrudiertem Leichtbeton bestätigen (vgl. Abbildung 3).

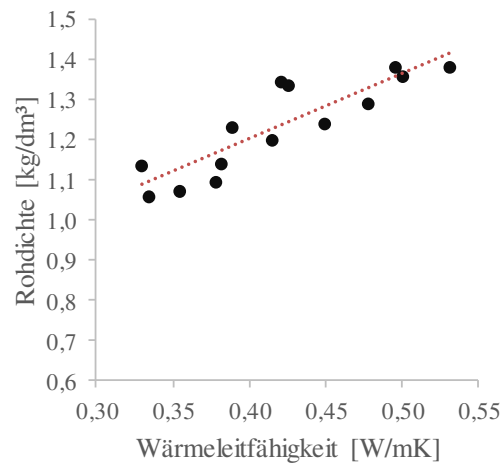


Abbildung 2: Aus extrudiertem Bauteil herausgesägter Probekörper zur Bestimmung der Festbetoneigenschaften sowie Verhältnis von Rohdichte des Materials zu Wärmeleitfähigkeit (C. Matthäus)

An mithilfe von SCA hergestellten Probekörpern wird zudem eine mögliche Anisotropie 3D-gedruckter Bauteile untersucht. Dazu wird die Wärmeleitfähigkeit quer und längs zu den Schichten separat gemessen. Dies ist über das Anisotropie-Softwarepaket des Hot Disk TPS 1500 möglich. Es wurde wiederum der Kapton 5501-Sensor sowie ein Energieeintrag von 50mW über 80s verwendet.

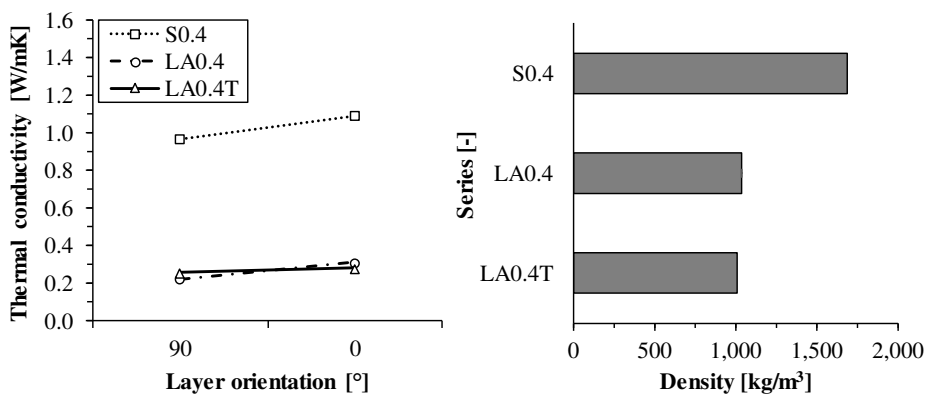


Abbildung 3: Wärmeleitfähigkeit abhängig von der Lagerorientierung und Rohdichte der Mischungen [2]

Alle Probekörper wurden mit einem w/z-Wert von 0,4 hergestellt. Der Probekörper mit Sand (S0.4) zeigte 3,5-4,5-fach höhere Wärmeleitfähigkeiten als die mit Leichtzuschlägen hergestellten Proben (LA0.4 und LA0.4T), wie man in Abbildung 3 erkennen kann. Dabei wurde der Sand volumengleich mit Leichtzuschlägen ausgetauscht. Die gemessene Wärmeleitfähigkeit zwischen 0,22 und 0,31 W/mK der Leichtbetonproben ist auf die geringe Rohdichte von circa 1020 kg/m³ zurückzuführen. Die Ergebnisse deuten eine leichte Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von der Lagenorientierung an, die mit zunehmender Wärmeleitfähigkeit stärker wird. Dies ist über die inhomogene Verteilung der Rohdichte über die Höhe durch einen Verdichtungseffekt in der Horizontalen aufgrund des Produktionsprozesses zu erklären, wie in [2] und [3] dargestellt wird.

Danksagung: Die Untersuchungen sind im Rahmen von zwei Forschungsprojekten entstanden. Das Projekt „Additive Fertigung von multifunktionalen, monolithischen Wandelementen durch Extrusion von Leichtbeton (LC3D)“ mit der Projektnummer SWD-10.08.18.7-17.14 wurde durch die Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesamts für Bauwesen und Raumordnung (BBR) gefördert. Zusätzlich fanden Untersuchungen im Rahmen des DFG-Projekts „Industrieller 3D-Betondruck durch selektive Zementaktivierung - Verfahren, Material, Anwendungen“ gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft mit der Projektnummer 389705984 statt.

- [1] Henke, K.: Additive Baufertigung durch Extrusion von Holzleichtbeton. Doctorate. Technical University of Munich, 2016.
- [2] Weger, D., Kim, H., Talke, D., Henke, K., Kränkel, T., Gehlen, C.: Lightweight concrete 3D-printed by Selective Cement Activation – Investigation of thermal conductivity, strength and water distribution. In: Proceedings of the 2nd RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication - Digital Concrete 2020, Eindhoven 2020.
- [3] Lowke, D., Talke, D., Dressler, I., Weger, D., Gehlen, C., Ostertag, C., et al., Particle-bed 3D-Printing by Selective Cement Activation – Applications, material and process technology – Special Issue for the 2. RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication in July 2020, 2020 [paper accepted]



**C3 PROZESS- UND
ANALYSENTECHNIK**