

Prozesstechnische Optimierung der additiven Fertigungsmethode Selective Cement Paste Intrusion durch Einsatz von Zusatzmitteln

Wissenschaftlicher Kurzbericht Nr. 46 (2019)

Alexander Straßer

Daniel Weger, M.Sc.

Arbeitsgruppe 2: Beton

1 Einleitung

Die additiven Fertigungsverfahren (AM), auch umgangssprachlich oft als „3D Druck“ bezeichnet, bieten im Betonbau neue Gestaltungsmöglichkeiten: Vor allem bieten die AM die Möglichkeit, komplexere Bauteile mit minimalen Materialaufwand zu konstruieren. Bei traditionellen Herstellungsmethoden, wie dem Füllen einer Schalung mit Beton, führt die hohe Komplexität der Schalung zu hohen Kosten. Die Bauteilkosten bei den AM sind im Wesentlichen jedoch unabhängig von der Stückzahl der Bauteile und deren Komplexität.

Die Selective Paste Intrusion ist ein Partikelbettbasiertes AM-Verfahren, bei dem Schichten aus Gesteinskörnung (0,7-3,2 mm) in Schichtstärken von ≤ 5 mm ausgebracht werden und anschließend selektiv mit Zementleim an den Stellen verfestigt wird, an denen das spätere Bauteil entstehen soll.

Dabei spielen die rheologischen Eigenschaften (Fließgrenze, Viskosität und Thixotropie) der Leime eine wichtige Rolle, um einen vollen Schichtenverbund und eine gute Konturtreue gewährleisten zu können. [1–7]

Bisher wurden Eigenschaften des Leims im Hinblick auf Festigkeit und Formtreue optimiert. Der prozesstechnologische Aspekt der Baugeschwindigkeit wurde bisher noch nicht betrachtet. Dabei spielt dieser für die Praxis eine wichtige Rolle. Der bisher verwendete Zementleim erreichte Erstarrungsgeschwindigkeiten von 13 Stunden, was lediglich eine Einschichtproduktion ermöglicht. Um die Zeit der Bauteilfertigung zu reduzieren, wurde die Zementleimrezeptur mit verschiedenen Betonzusatzmitteln optimiert. Die Schwierigkeit ist hierbei, eine gleichbleibende Verarbeitbarkeit über einem (in diesem Paper gewählten) Zeitraum von 3 h konstant zu halten und anschließend ein möglichst schlagartiges und schnelles Erstarren ohne Verlust von Festigkeit zu erreichen

2 Messmethode

Um die beiden Ziele, Verarbeitbarkeit und beschleunigte Bauteilproduktion, optimieren zu können, wurden das Ausbreitfließmaß (als Maß für die Verarbeitbarkeit bzw. Fließgrenze [8]) mit einem Hägermanntrichter und die Erstarrungsgeschwindigkeit bzw. der Erstarrungsverlauf mit einem Vicat-Nadel-Gerät nach DIN EN 196-3:2017-3 geprüft. Dabei wurde ein Ausbreitfließmaß von 400 mm über eine Zeitspanne von 180 Minuten angestrebt.

3 Durchführung

Durchgeführt wurden die Versuche mit einem CEM I 42,5 R. Der w/z-Wert aller Leime lag konstant bei 0,3. Zur Optimierung kamen verschiedene Zusatzmittel in Form von einem PCE Fließmittel, Betonverflüssiger und verschiedenen Beschleunigern zum Einsatz. Dabei wurden verschiedene Zementleime mit unterschiedlichen Dosierungen der einzelnen Zusatzmittel hergestellt. Anschließend wurden das Ausbreitfließmaß in verschiedenen Zeitabständen und ein Vicat-Nadel Versuch geprüft.

4 Ergebnisse

Zunächst wurde ein Referenzleim hergestellt. Dieser bestand lediglich aus Wasser, Zement und einem PCE Fließmittel mit einem Fließmittelgehalt von 0,80%. Der größte Erfolg konnte mit den Zusatzmitteln Fließmittel (0,8%), Betonverflüssiger (0,6 %), Calciumnitrat-Beschleuniger (0,1 %) und einem Beschleuniger mit synthetischen C-S-H Kristallen (1,8 %) erreicht werden. Dabei blieb das Ausbreitfließmaß unverändert auf 400 mm konstant über 180 Minuten. Es konnte ein über fünf Stunden früheres Erstarrungsende gemessen werden, siehe Abbildung 1. Das entspricht einer 40 % früheren Erstarrung gegenüber dem Referenzleim.

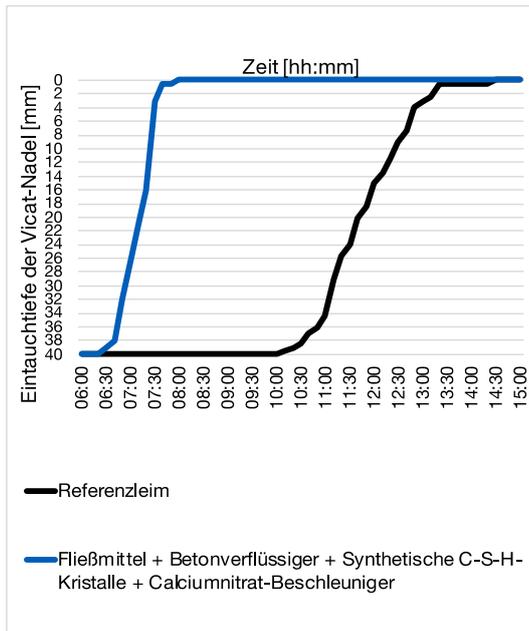


Abbildung 1: Vicat-Nadel-Versuch

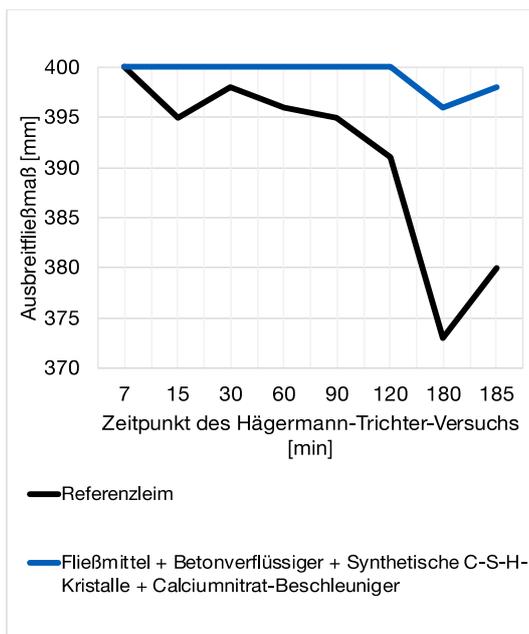


Abbildung 2: Hägermann-Trichter-Versuch

5 References

- [1] D. Lowke, E. Dini, A. Perrot, D. Weger, C. Gehlen, B. Dillenburger, Particle-bed 3D printing in concrete construction – Possibilities and challenges, *Cement and Concrete Research* 112 (2018) 50–65.
- [2] D. Weger, C. Gehlen, D. Lowke, 3D-Betondrucken - Stand der Forschung an der TUM, in: *Tagungsband 59. Forschungskolloquium des DAfStb*, 11.-12.10.18, 2018.
- [3] D. Weger, C. Gehlen, D. Lowke, Additive Fertigung von Betonbauteilen durch selektive Zementleim-Intrusion, in: *Tagungsband ibausil 2018*, Weimar, 2018.
- [4] A. Pierre, D. Weger, A. Perrot, D. Lowke, Penetration of cement pastes into sand packings during 3D printing: Analytical and experimental study, *Materials and Structures* 51 (2018) 22.
- [5] D. Weger, D. Lowke, C. Gehlen, D. Talke, K. Henke, Additive manufacturing of concrete elements using selective cement paste intrusion – Effect of layer orientation on strength and durability, in: *Proceedings of RILEM 1st International Conference on Concrete and Digital Fabrication*, Zurich, 2018.
- [6] D. Weger, D. Lowke, C. Gehlen, 3D Printing of Concrete Structures with Calcium Silicate based Cements using the Selective Binding Method – Effects of Concrete Technology on Penetration Depth of Cement Paste, in: *Proceedings of Hipermat 2016 - 4th International Symposium on Ultra-High Performance Concrete and High Performance Construction Materials Kassel*, Kassel University Press, 2016.
- [7] D. Weger, D. Lowke, C. Gehlen, 3D printing of concrete structures using the selective binding method - Effect of concrete technology on contour precision and compressive strength, in: K. Maekawa, A. Kasuga, J. Yamazaki (Eds.), *Proceedings of 11th fib International PhD Symposium in Civil Engineering*, The University of Tokyo, Tokyo, 2016, pp. 403–410.
- [8] N. Rousset, C. Stefani, R. Leroy, From mini-cone test to Abrams cone test: measurement of cement-based materials yield stress using slump tests, *Cement and Concrete Research* 35 (2005) 817–822.