

Additive Fertigung von Glas im Bauwesen

Autoren:

Matthias Seel, Technische Universität Darmstadt, Zentrum für Konstruktionswerkstoffe, MPA-IfW

Robert Akerboom Technische Universität Darmstadt, Institutes für Statik und Konstruktion (ISM+D)

Die Technologie Additive Fertigung (AF) ermöglicht es zukünftig individuelle, architektonisch ansprechende und topologieoptimierte Bauteile kosteneffizient und ressourcenschonend zu realisieren. Der „3D-Druck“ von Metallen und Kunststoffen ist heute bereits ein Standard. Die Forschung im Bereich der additiven Fertigung mit dem Material Glas, das in der Regel als flache Struktur im Bauwesen eingesetzt wird, befindet sich jedoch in einem Anfangsstadium. Die Kombination von Additiver Fertigung und Glas bietet dabei völlig neue Möglichkeiten für das Bauwesen. Homogene, transparente und individuelle Glas-Glas-Verbindungen und Verstärkungen aus Glas auf Flachglas sind denkbar. Für das Bauwesen sind insbesondere die Glasarten Borosilikatglas und Kalk-Natronsilikatglas wegen der geringeren Kosten gegenüber anderen Glasarten (z.B. Quarzglas) von Interesse. Abbildung 1a) zeigt eine „3D-gedruckte“ Glasstruktur, bei der einzelne Schichten von geschmolzenem

Glas übereinander gedruckt und anschließend in einer beheizten Kammer definiert abgekühlt werden.

Einige wenige Forschungsvorhaben konzentrieren sich auf die Additive Fertigung von individuellen Glaskomponenten (Karlsruhe Institute of Technology bzw. NeptunLab Universität Freiburg [2], Massachusetts Institute of Technology (MIT) [3], Missouri University of Science and Technology [4]). Sie fokussieren sich jedoch nicht auf den Fügeprozess zwischen additiv hergestellten Glasstrukturen auf Flachglas (s. Abbildung 1b). Für die Herstellung der Glaskomponenten werden die Additiven Fertigungsverfahren Fused Deposition Modelling (FDM), Stereolithographie und Selektives Laserschmelzen (SLM) verwendet. Aufgrund der hohen Fertigungsgeschwindigkeiten bietet sich insbesondere zur Realisierung von großen Glasstrukturen die AF-Technologie Fused Deposition Modelling (FDM) an.

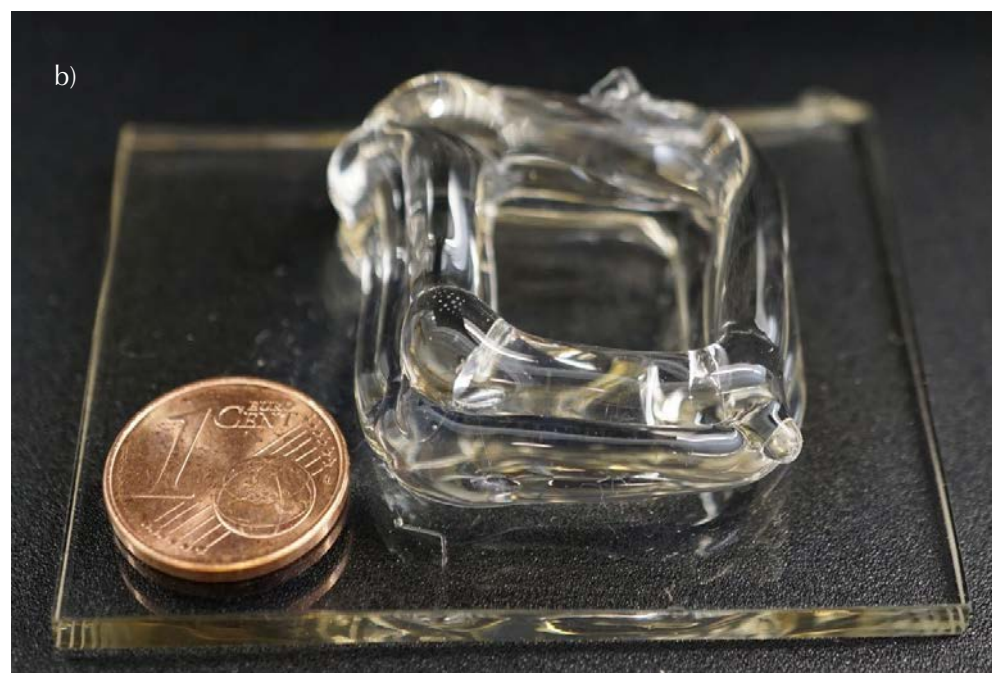


Abbildung 1: Additiv gefertigte Glaskomponenten: a) „3D-gedrucktes“ Glas (FDM) vom MIT [3] (Foto U. Knaack); b) „3D-gedrucktes“ Borosilikatglas auf Flachglas

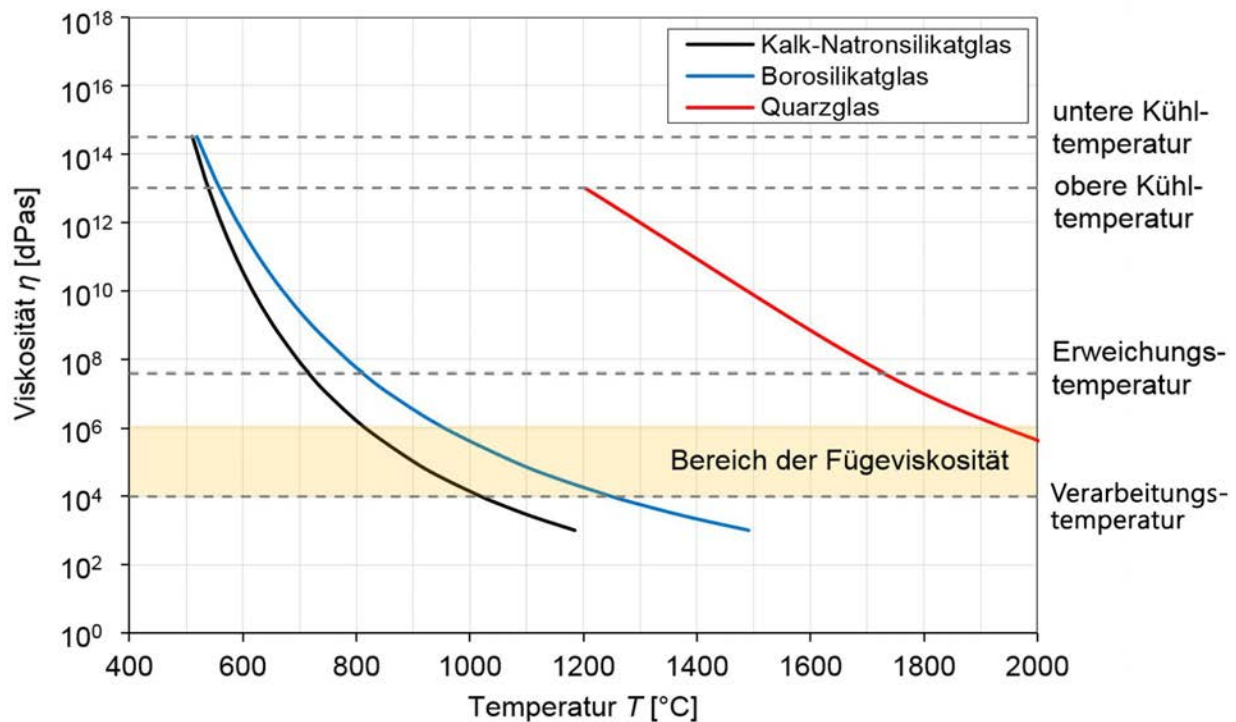


Abbildung 2: Temperaturabhängigkeit von Glasviskosität mit typischen Viskositätspunkten und dem Bereich der Fügeviskosität (10^4 bis 10^6 dPas) in Anlehnung an [5]

Die wesentlichen Herausforderungen für das Herstellen von additiv hergestellten Glasstrukturen auf Flachglas mittels der FDM-Technologie sind die hohen Prozess-temperaturen, das Vorhandensein und die Steuerung von verschiedenen Temperaturfeldern zur Gewährleistung eines adäquaten Fügeprozesses zwischen verschiedenen Glaslagen und Flachglas sowie die Vermeidung von thermisch induziertem Glasbruch. Für den Fügeprozess von Gläsern werden Viskositätswerte im Bereich von 10^4 bis 10^6 dPas (Fügeviskosität) benötigt [5]. Daraus ergibt sich ein Verarbeitungstemperaturbereich von 940 bis 1270°C für Borosilikatglas und 820 bis 1030°C für Kalk-Natron-Silikatglas (s. Abbildung 2). Einerseits sind die niedrigen Viskositätswerte oder hohen Temperaturen für den Fügeprozess von Glas notwendig, andererseits führen sie zu ungewollten Formänderungen der gewünschten Struktur, wenn das Glas zu lange in einem Zustand niedriger Viskosität bleibt (s. Abbildung 1b). Die Temperatur des Glases außerhalb des Fügebereiches sollte im Bereich der Glasumwandlungstemperatur T_G (525°C für

Borosilikatglas) liegen, um die geometrische Form der Struktur zu erhalten. Neben unerwünschten Eigenspannungen, Rissen und unbeabsichtigten Formänderungen können bei unzureichendem Temperaturmanagement auch Blasen und Kristallisationsbereiche auftreten. Darüber hinaus ist für einen erfolgreichen Fertigungsprozess die Temperaturabhängigkeit der Materialeigenschaften von Glas (thermischer Ausdehnungskoeffizient, Festigkeit und Viskosität) zu berücksichtigen. Diese Aspekte zeigen, dass die Kontrolle und gezielte Einstellung der Temperaturen entscheidend für den Fügeprozess auf Flachglas sind, damit eine homogene und reproduzierbare Glasstruktur auf Flachglas mit einer ausreichenden mechanischen Festigkeit entsteht. Im Idealfall sollte der Temperaturgradient zwischen dem Fügebereich und dem restlichen Glas minimal sein, da Eigenspannungen im Glas entstehen und zu Mikrorissen und schließlich zum Versagen des Glases führen. Herstellungsbedingte Eigenspannungen lassen sich durch einen nachfolgenden und kontrollierten Kühlprozess minimieren.

Untersuchungen mit Borosilikatglas und Kalk-Natron-silikatglas zeigen die generelle Machbarkeit des Verschmelzens von Glas auf Flachglas als ersten Schritt zur additiven Herstellung von Glasstrukturen auf Flachglas. Durch die Prüfung der Proben auf ihre makroskopische Biegefestigkeit und durch die optische und spannungsoptische Analyse der Proben konnten wir ein besseres Verständnis über das Potenzial dieser Technik und eine allgemeine Idee von FDM auf Flachglas erarbeiten [6], [7]. Eine der wichtigsten Erkenntnisse ist, dass die entstehenden Glasstrukturen auf Flachglas eine ausreichende mechanische Festigkeit bieten können, die bei einer Verwendung von Glas in strukturellen Anwendungen erforderlich ist.

Durch den „3D-Druck“ von Glas auf Flachglas können individuelle und transparente Glasverbindungen bzw. Glasstrukturen entstehen, die eine Lastübertragung von Flachglas auf die Unterkonstruktion ermöglichen. Exemplarisch sind zwei verschiedene Entwürfe von Glashaltern in Abbildung 3 dargestellt. Ein wesentlicher Vorteil dabei ist der Wegfall von Bohrungen im Flachglas für Verbindungen mit den damit verbundenen Nachteilen, wie lokale Spannungsspitzen sowie aufwendige Spannungsberechnungen im Auslegungsprozess. Außerdem kann der Einsatz von Klebstoff zur Verbindung von Glasstrukturen vermieden werden, einschließlich der damit verbundenen Probleme der Alterung und Delaminierung des Klebstoffs im Laufe der Zeit.

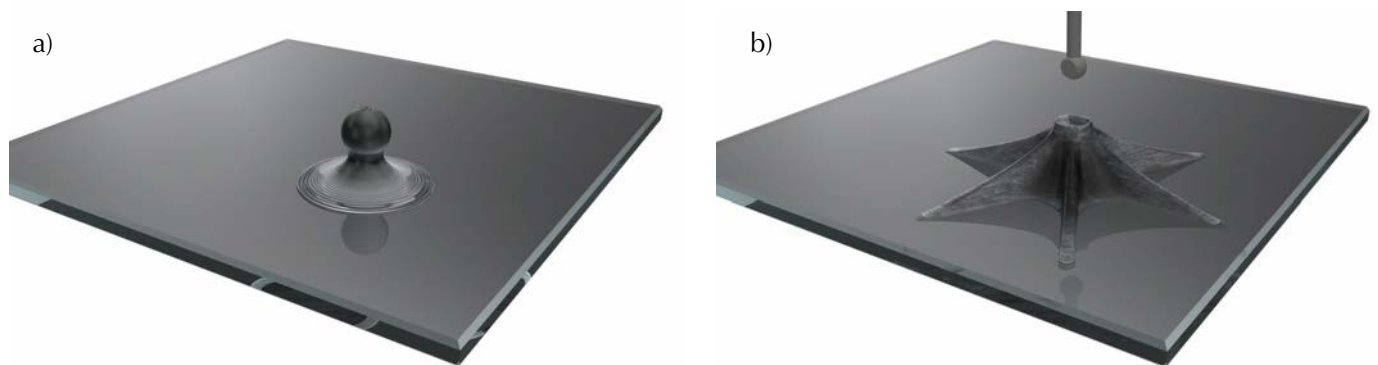
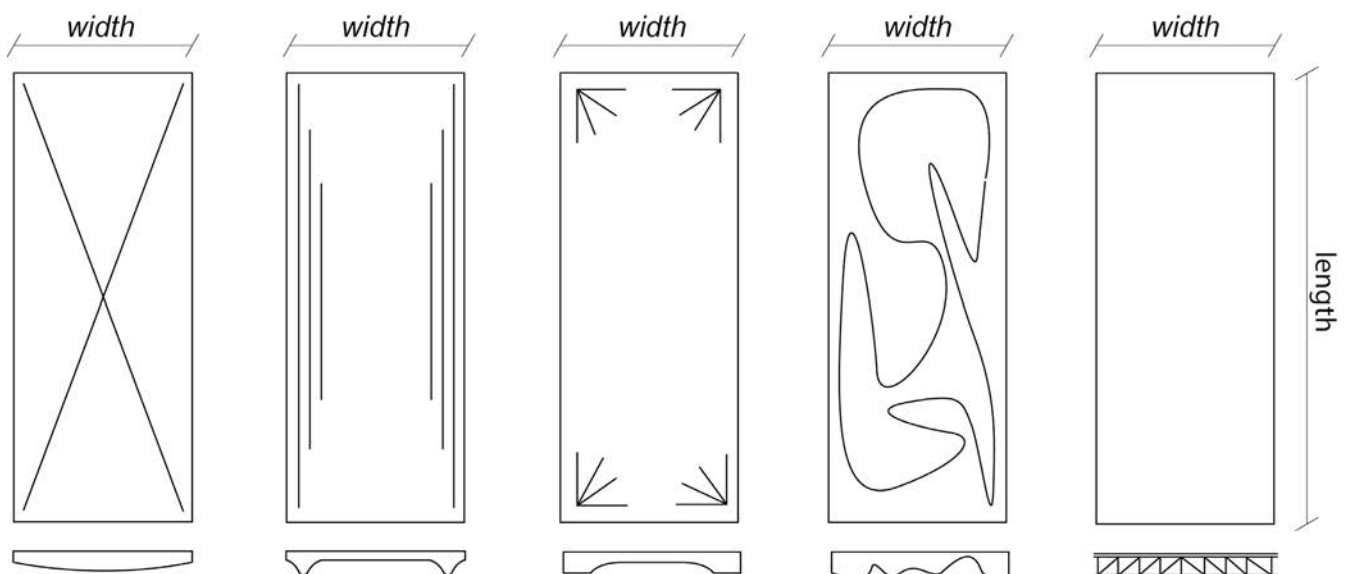


Abbildung 3: Studie von „3D-gedruckten“ Glashaltern (Punkthalter) auf Flachglas:
a) rotationssymmetrischer Glshalter; b) „Spider“

Die mit dieser Technologie verbundene Formfreiheit bietet neben der Lastübertragung auch die Chance spezifische Versteifungen bzw. Verstärkungen auf Flachglas zu realisieren. Dadurch lassen sich zum Beispiel größere Spannweiten im Fassadenbereich verwirklichen. In Abbildung 4 sind verschiedene Typologien für die strukturelle Verstärkung von Flachglas dargestellt.



Die Aspekte zeigen, dass viel Potenzial darin steckt, mehr oder weniger zweidimensionale Bauteile, wie die Verglasung einer Fassade um eine dritte Dimension zu erweitern. Als Vision für das Bauwesen können Fassadenverglasungen mit Abmessungen im Bereich von 3,25 x 20 Quadratmetern entstehen, die mit Hilfe von „gedruckten“ Glashaltern an die Unterkonstruktion angeschlossen und senkrecht zur Glasoberfläche lokal verstärkt werden können. Die Thematik der Additiven Fertigung mit dem Werkstoff Glas und dessen Potential wird an der TU Darmstadt durch die Wissenschaftler des Institutes für Statik und Konstruktion (ISM+D Prof. Dr.-Ing. Knaack, Prof. Dr.-Ing. Schneider) und des Zentrums für Konstruktionswerkstoffe (MPA-IfW Prof. Dr.-Ing. Oechsner) erforscht.

Literaturverzeichnis:

- [1] Akerboom, R.: Fused Glass Deposition Modeling im Bauwesen, Fassade – Technik und Architektur, (02.2018), p. 23.
- [2] Kotz, F., Arnold, K., Bauer, W., Schild, D., Keller, N., Sachsenheimer, K., Nargang, T.M., Richter, C., Helmer, D., Rapp, B.E.: Three-dimensional printing of transparent fused silica glass. *Nature* 544, pp. 337-339, 2017.
- [3] Klein, J., Stern, M., Franchin, G., Kayser, M., Inamura, C. Dave, S., Weaver J.C., Houk, Colombo, M, Yang, M.: Additive manufacturing of optically transparent glass. *3D Printing and Additive Manufacturing* 2 (3), pp. 92–105, 2015.
- [4] Luo, J., Pan, H., Kinzel, E.C.: Additive Manufacturing of Glass. *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 136 (6), 2014.
- [5] Schiffner, U.: Fügen von Glas - Verschmelzen v. Gläsern für Elektrotechnik u. Elektronik. Hüttentechnische Vereinigung d. Deutschen Glasindustrie, Frankfurt/ Main, 1995.
- [6] Seel, M., Akerboom, R., Knaack, U., Oechsner, M., Hof, P., Schneider, J.: Additive Manufacturing of Glass Components – Exploring the Potential of Glass Connections by Fused Deposition Modeling. *Challenging Glass Conference Proceedings*, [S.l.], v. 6, p. 381-388, 2018.
- [7] Seel, M., Akerboom, R., Knaack, U., Oechsner, M., Hof, P., Schneider, J.: Fused glass deposition modelling for applications in the built environment. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 49(7), p. 870-880, 2018.

Anzeigen / Stellenanzeigen

WERKZEUGE, MASCHINEN, ZUBEHÖR & GLAS



Fusingöfen, Exzentrerschleifer, Sägen etc.

die TGK bietet alles an Werkzeugen und Maschinen an, was das Gestalter Herz höher schlagen lässt.

- Tellerschleifer
- Bandschleifer
- Graviergeräte
- Werkzeuge
- Fusingöfen
- Lötgeräte

Wir freuen uns auf Ihre Anfrage



TGK GmbH

Helleforthstraße 18-20

D-33758 Schloß Holte-Stukenbrock

fon +49.(0)5207 . 9128-0

fax +49.(0)5207 . 9128-40

mail: tgk@tgk.de

web: www.tgk.de

Wir DRUCKEN auf GLAS...www.druckenaufglas.de