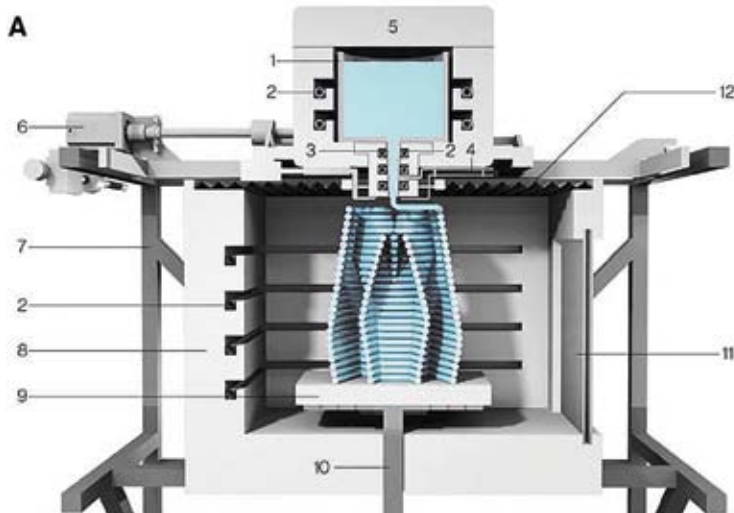


Laserbasierte Technologien

zum 3D-Druck von Gläsern und Biegen von Flachgläsern

System Section



Kiln Cartridge

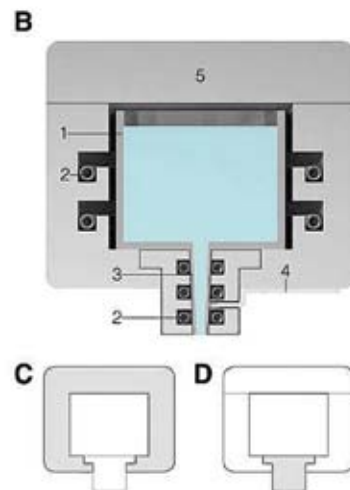


Abbildung 1: Schematischer Versuchsaufbau des FDM Verfahrens für Glas [2]

Additive Fertigungsverfahren werden für Kunststoffe, Metalle und Keramiken bereits industriell eingesetzt. Für den Werkstoff Glas konnten erste innovative Publikationen durch unterschiedliche Forschungseinrichtungen veröffentlicht werden. Die verschiedenen additiven Fertigungsverfahren zur Erzeugung komplexer 3D-Bauteile aus Glas werden im Folgenden erläutert.

Das FLM- (Fused Layer Modeling) Verfahren, das sog. Extrusionsverfahren, ermöglicht eine effiziente und kostengünstige Herstellung komplexer 3D Bauteile aus thermoplastischen Materialien. Der drahtförmige Werkstoff wird gezielt durch eine beheizte Düse aufgeschmolzen und auf die Bauplattform abgelegt. Die Einzelschichtbildung entsteht durch die anschließende Abkühlung des Werkstoffes. Typische Schichtdicken liegen zwischen 0,127 und 0,330 mm. Die vielfache Wiederholung dieser Prozessschritte ermöglicht die Fertigung komplexer Bauteile mit einer hohen Geometrievielfalt. [1]

Die Herstellung komplexer Bauteilgeometrien aus Kalk-Natronglas wird durch die Verwendung eines Schmelzofens und einer beheizbaren Prozesskammer ($T > 1000\text{ °C}$) realisiert, s. Abbildung 1. Der obere Schmelzofen kann zur direkten Glasschmelze, aber auch zur

Befüllung mittels einer vorhandenen Glasschmelze verwendet werden. Durch eine separat beheizte Düse wird die Glasschmelze mit einer Flussrate von $v = 5,7\text{ mm s}^{-1}$ definiert auf die Bauplattform in die beheizte Prozesskammer geleitet. In dieser Prozesskammer ist eine kontrollierbare Abkühlung möglich, wodurch spannungsbedingter Glasbruch vermieden werden kann. Es konnten erste homogene Bauteile mit einer Einzelschichthöhe von $h = 4,5\text{ mm}$ gefertigt werden, s. Abbildung 2. Für einen stabilen Aufbau des 3D-Bauteils ist ein Verbund der ersten Schicht mit der Druckplattform notwendig. Hierdurch ist eine Nachbearbeitung, z.B. Bodenpolitur und Glättung scharfer Kanten, notwendig. [2]



Abbildung 2: Durch FDM gefertigtes Bauteil [2]

Ein weiteres Verfahren zur Fertigung von 3D-Bauteilen ist das selektive laserinduzierte Ätzen (engl. Selective Laser induced Etching, SLE), welches insbesondere zur Herstellung von Mikrobauteilen, Kanälen oder geformten Ausschnitten in transparenten Materialien verwendet wird. Mittels fs-Laserstrahlung wird die Struktur des Rohmaterials verändert und durch die scannende Bewegung des Laserstrahls definierte Geometrien erzeugt. Anschließend wird das bestrahlte Material durch eine Ätzlösung entfernt, s. Abbildung 3. Durch die Laserbehandlung ist eine 10000-fache schnellere Ätzung möglich. Mit diesem Herstellungsverfahren können Strukturgenauigkeiten bis 100 nm realisiert werden, bei einem sehr geringen Materialverlust, s. Abbildung 4. [3]



Abbildung 4: Zahnrad aus Quarzglas, gefertigt mittels SLE [3]

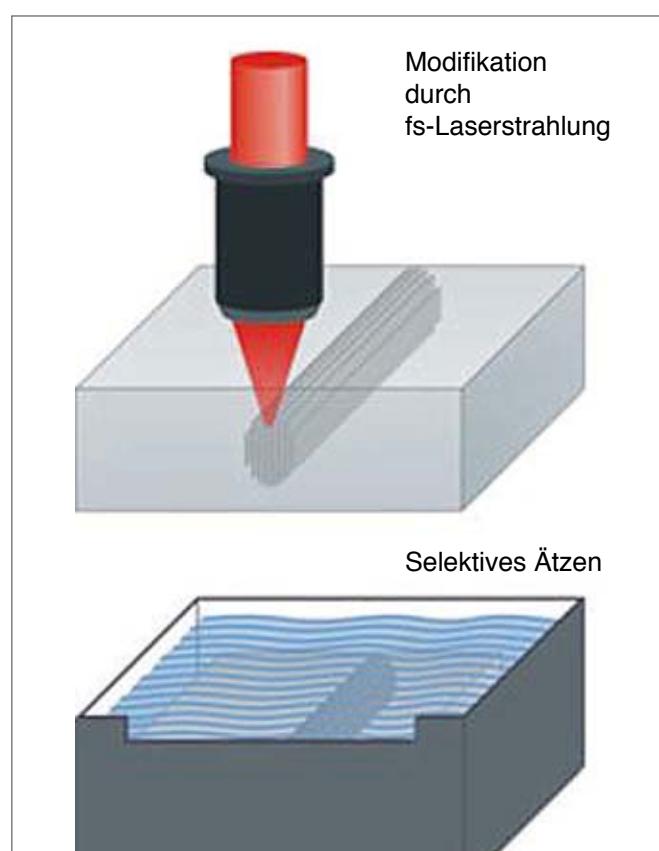


Abbildung 3: Prozessprinzip laserinduziertes Ätzen [3]

Auch mittels des Schicht Laminat Verfahrens (eng. Layer Laminate Manufacturing, LLM) können 3D-Bauteile hergestellt werden. Bei diesem Verfahren wird ein trennendes Werkzeug, meist ein CO₂-Laser, zur Generierung der Einzelschicht verwendet. Die Ablenkung des Laserstrahls erfolgt durch ein Scansystem zur Bauplattform, wo der Ausgangswerkstoff, meist Papier, in Folienform als Endlosbahn bereitgestellt wird, s. Abbildung 5. Durch das anschließende Fügen der Einzelschichten, je nach der Art des verwendeten Werkstoffes, kann ein 3D-Bauteil mit großem Modellvolumen gefertigt werden.

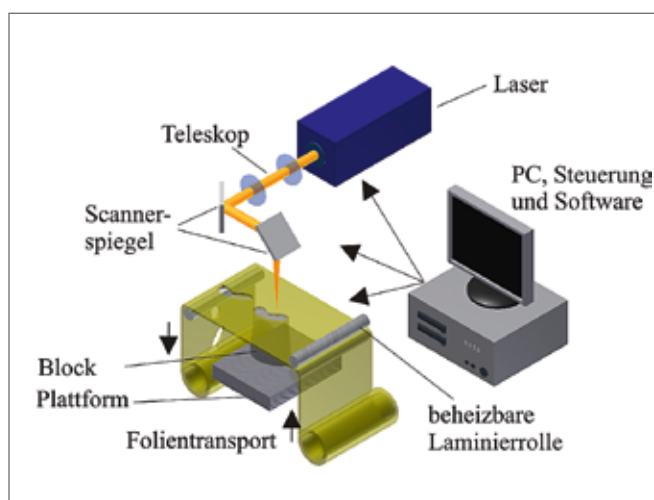


Abbildung 5: Prozessprinzip des LLM-Verfahrens [4]

[1] Für die Werkstoffe Glas und Keramik bietet dieses Fertigungsverfahren ein großes Potential. Es kann das Laserstrahlschneiden, zur Herstellung der Einzelschichten, mit dem stoffschlüssigen Fügen durch Diffusionsschweißen kombiniert werden. Es konnten bereits erste Demonstratoren und Kühlelemente mit einer Schichtdicke von 500 µm sowohl aus Quarzglas und BF 33® gefertigt werden, s. Abbildung 6. [4]

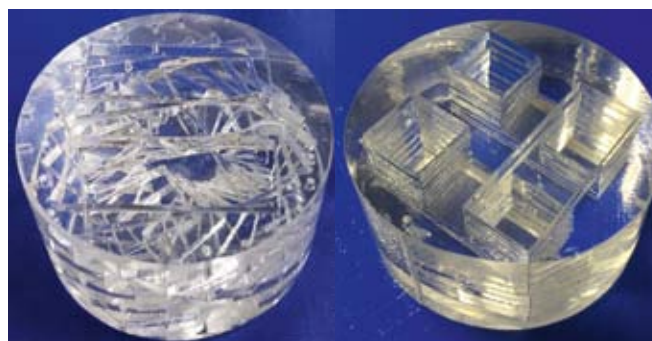


Abbildung 6: Bauteile gefertigt aus BF 33® (links) und Quarzglas (rechts)

Für die Fertigung von 3D-Bauteilen durch das selektive Laserschmelzen (eng. Selective Laser Melting, SLM) wird der zu verarbeitende Werkstoff in Pulverform in einem Vorratsbehälter bereitgestellt. Durch eine geeignete Rakeleinheit wird das Pulver auf der Bauplattform definiert verteilt. Zur Erzeugung der Einzelschicht wird dieser Werkstoff mittels scannender Laserstrahlung aufgeschmolzen und durch die anschließende Abkühlung eine feste Schicht generiert. Das Prozessprinzip ist in Abbildung 7 schematisch dargestellt. Typische Schichtdicken für dieses Fertigungsverfahren liegen bei 15 – 150 μm . Es ist ein formloses Schmelzen mit hohen Bauteildichten des Werkstoffes und mit einer hohen Geometrievielfalt möglich. [1] [5] Auch amorphes SiO_2 Pulvermaterial konnte bereits erfolgreich verarbeitet werden. Es konnten optische Einzelschichten mit Schichtdicken von 100 – 200 μm mit einem CO_2 -Laser gefertigt werden, s. Abbildung 8. [6]

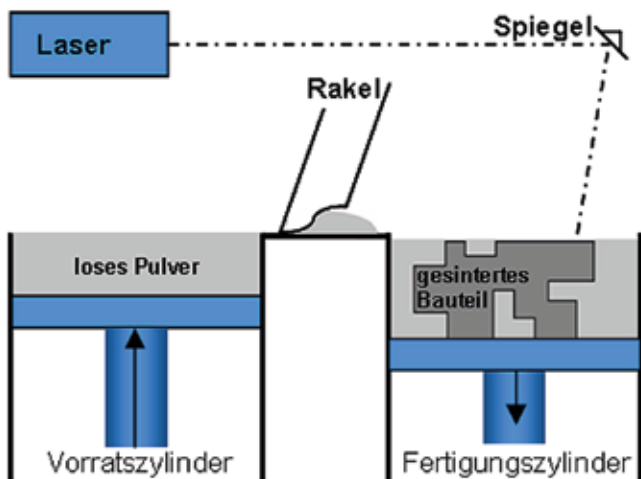


Abbildung 7: Prozessprinzip des SLM-Verfahren [5]

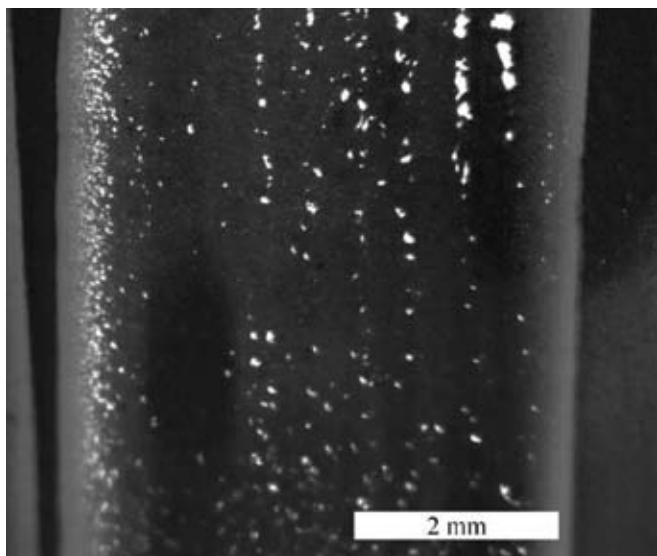


Abbildung 8: Einzelschicht aus Quarzglaspulver [6]

Verfahrensbedingt ist bei der Herstellung optischer Bauteile oftmals eine Nachbearbeitung in Form einer Oberflächenpolitur notwendig. Bedingt durch die Geometrievielfalt ist diese mit den klassischen mechanischen Verfahren oftmals nicht oder nur teilweise realisierbar. Die Haupteinsatzgebiete der Laserstrahlpolitur hingegen liegen insbesondere auf der Bearbeitung von 2D- und 2½D-Strukturen und ermöglichen somit die entsprechende Nachbearbeitung. Das Polieren mittels CO_2 -Laserstrahlung ist ein thermisches Verfahren, bei welchem die optische Energie in thermische umgewandelt wird. Durch die Materialerwärmung fängt das Material an zu fließen. Die Oberflächenrauheit wird durch die Oberflächenspannung geglättet, Rauheitsspitzen werden abgetragen und Profiltiefen aufgefüllt. Zylinder, typische Linsengeometrien oder Freiformen, gefertigt aus unterschiedlichen Glasmaterialien wie z.B. N-BK7[®], BF33[®] oder Quarzglas, können poliert werden, s. Abbildung 9. Eine Poliertrate von 7,5 s cm^{-2} ermöglicht eine effiziente und qualitativ hochwertige Politur. Typischerweise werden Oberflächenrauheitswerte von $R_a < 10 \text{ nm}$ erreicht, gemessen mittels Tastschnittverfahren über die gesamte Probenlänge.

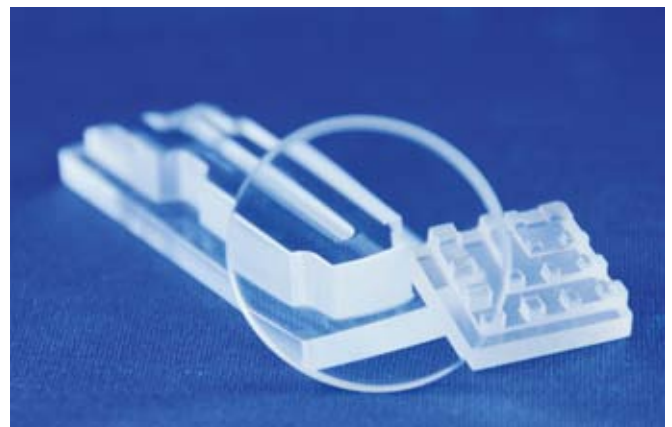


Abbildung 9: Laserstrahlpolierte Bauteile

Ein weiteres, noch weitgehend unerforschtes, jedoch zukunftssträchtiges Gebiet, ist die Herstellung komplexer Displayformen bzw. -geometrien. Anwendung finden diese zunehmend in der Automobilindustrie und Kommunikationstechnik. Wichtig hierbei sind individuelle Geometrien, die Zug-, Druck-, und Biegebeanspruchungen standhalten und in beliebige Produkte eingearbeitet werden können.

Mittels CO_2 -Laserstrahlung werden in einem aktuellen Forschungsprojekt der EAH Jena und dem Unternehmen Glamaco die beiden Alumosilikatdisplaygläser Gorilla Glass 3[®] und das Xensation Cover[®], mit den Maßen 140 x 70 x 0,55 mm^3 , umgeformt, s. Abbildung 10.

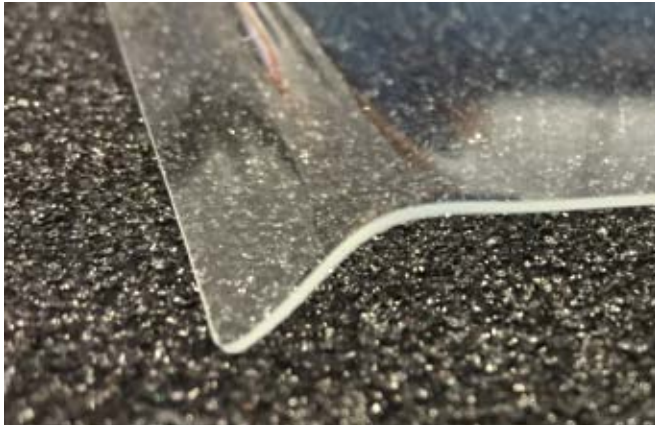


Abbildung 10: Laserstrahlunggeformtes Displayglas

Um dieses Material bearbeiten und insbesondere umformen zu können, sind komplexere Verfahren notwendig als die bisher bekannten Vorgehensweisen der Fertigungstechnik. Durch die Absorption der CO_2 – Laserstrahlung kann das Substrat partiell erwärmt werden. Die thermische Energie bewirkt eine Senkung der Viskosität und das Material erweicht. Die Umformung kann je nach Masse des Glases durch Schwerkraft oder mit einer zusätzlichen mechanischen Umformhilfe erfolgen. Das niedrigviskose Material soll sich an die Geometrie der darunter befindlichen Auflagenplatte anlegen. Problematisch hierbei sind die Eigenschaften des Alumosilikatglases. Da der Softening-Point weit über dem Wert der Temperaturwechselbeständigkeit liegt, würde eine ausschließlich partielle Bearbeitung mit Laserstrahlung den Grenzwert der Belastung überschreiten und das Substrat zerstören. Um den Gradienten zwischen Umformzone und restlicher Glaszone möglichst gering zu halten, ist es zwingend notwendig die gesamte Probe in einem Heizofen zu erwärmen. Der entwickelte Heizofen der Firma Glamaco besteht aus drei separat beheizbaren Kammern sowie einer automatisierten mechanischen

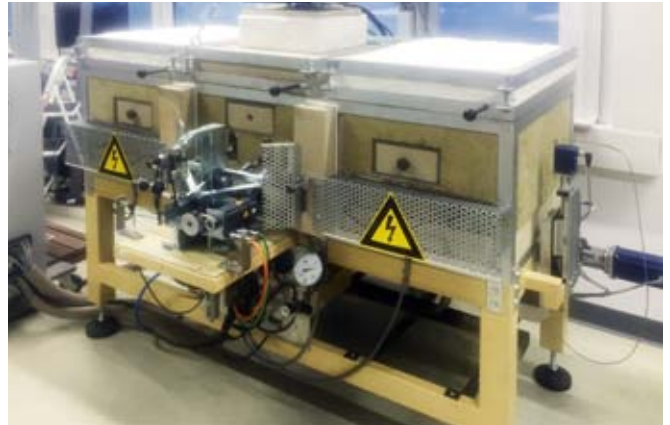


Abbildung 11: Heizkammer zum Laserstahlumformen

Probenbeförderung durch die drei Kammern, s. Abbildung 11. Durch das Kammersystem können bis zu 10 Proben gleichzeitig vorgewärmt werden, in der anschließenden Kammer separat umgeformt und schließlich in der letzten Kammer feingekühlt werden. Außerdem sollte ein kontinuierlicher Leistungsanstieg der induzierten Strahlung erfolgen. Für die kontinuierliche und schnelle Laserstrahlableitung sowie die Erzeugung eines gleichmäßigen Energieeintrages, findet ein hochdynamisches Scansystem Anwendung.



Ernst-Abbe-Hochschule Jena

Literaturverzeichnis

- [1] A. Gebhardt, Generative Fertigungsverfahren - Additive Manufacturing und 3D Drucken für Prototyping- Tooling- Produktion, München: Carl Hanser Verlag, 2013.
- [2] J. e. a. Klein, „Additive Manufacturing of Optically Transparent Glass,“ 3D PRINTING AND ADDITIVE MANUFACTURING, pp. 92-105, 2015.
- [3] Fraunhofer Instiut für Lasertechnik ILT, „Themenbroschüre: Selektives Laserätzen von Glas und Saphir,“ Aachen, 2014.
- [4] J. Bliedtner, H. Müller und A. Barz, Lasermaterialbearbeitung -Grundlagen -Verfahren -Anwendungen - Beispiele, München: Carl Hanser Verlag , 2013.
- [5] R. Aachen. [Online]. Available: <https://www.ghi.rwth-aachen.de/www/pages/keramik/lasersintern.png>. [Zugriff am 05 10 2016].
- [6] R. e. a. Khmyrov, „Crack-free selective laser melting of silica glass: single beads and monolayers on the substrate of the same material,“ Int J Adv Manuf Technol, Nr. 85, pp. 1461-1469, 2016.