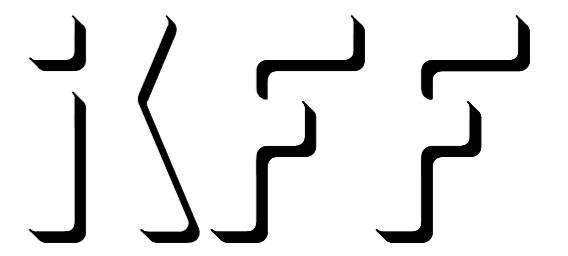


# Verarbeitung magnetisch gefüllter Thermoplaste im 3D-Druck



## 3D-Druck

Das Schmelzschichtverfahren ist eines der bekanntesten unter den additiven Fertigungsverfahren. Grund ist u.a. die kostengünstige Anschaffung und der Unterhalt entsprechender Geräte. Das Prinzip besteht im Aufschmelzen eines Thermoplastfilaments und Extrudieren der Schmelze durch eine Düse. Der Druckkopf platziert den Kunststoff dabei schichtweise auf einem Druckbett.

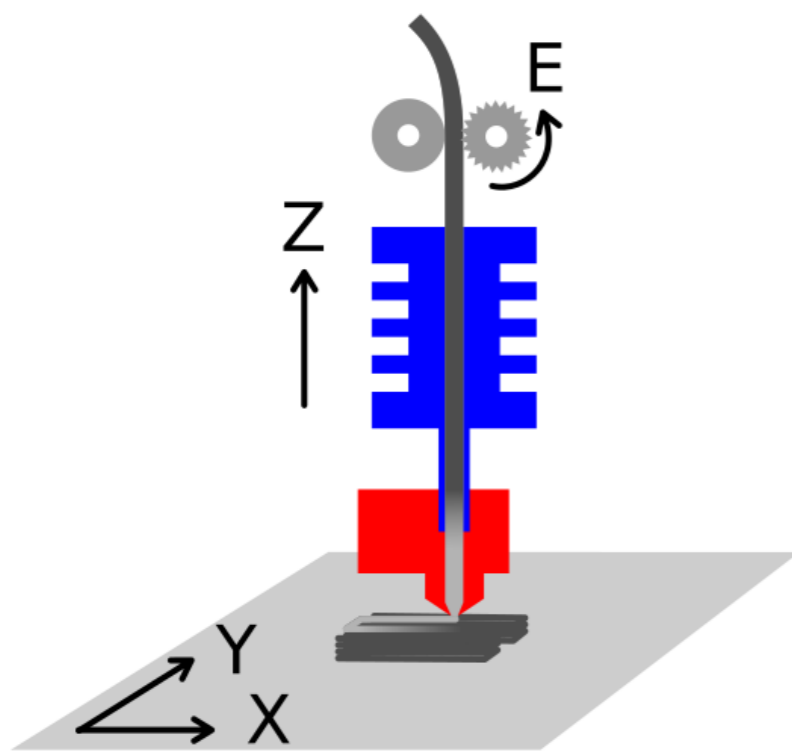


Abb. 1: Prinzip des Schmelzschichtverfahrens

## Magnetische Eigenschaften

Im Rahmen einer Masterarbeit wurden die Werkstoffe HM-1107 und SFC-M645G des japanischer Herstellers Mate Co., Ltd. auf ihre Eignung für die Verarbeitung im 3D-Druck untersucht. HM-1107 ist mit 35vol.% Strontiumferrit gefülltes PA6 und zeigt hartmagnetische Eigenschaften. SFC-M645G besteht zu 45vol.% aus metallischen Oxiden in einer PPS-Matrix und ist weichmagnetisch.

Die relative Permeabilität von SFC-M645G beträgt 5,5 bei 1 MHz laut Datenblatt. Dies wurde für Frequenzen im kHz-Bereich messtechnisch bestätigt.

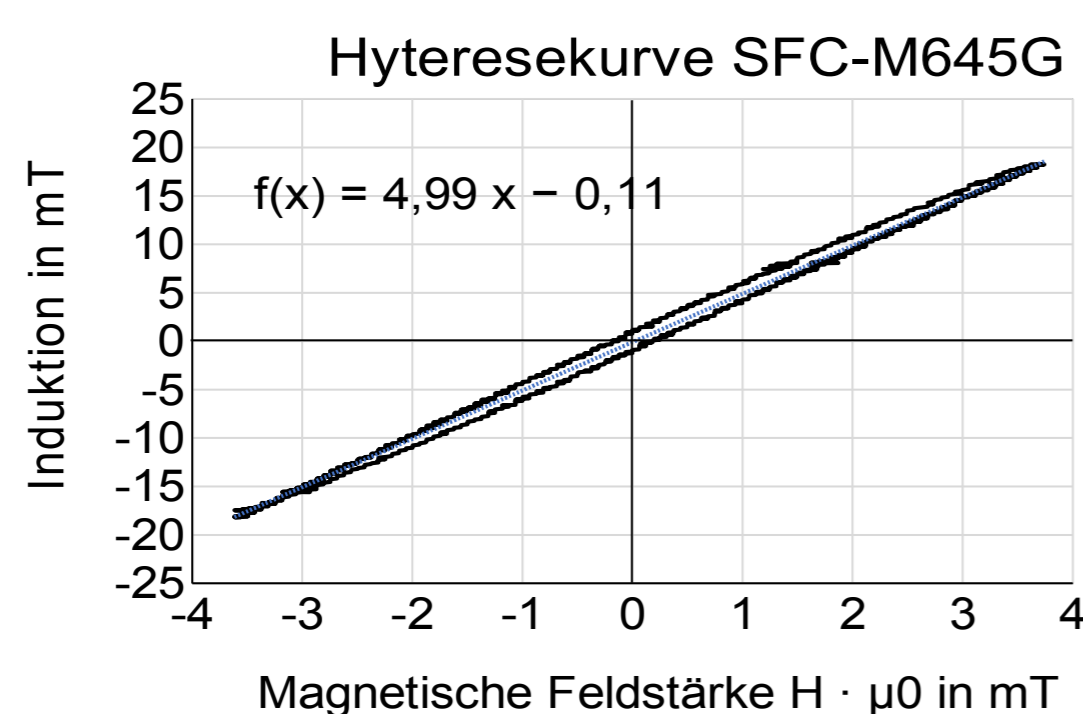


Abb. 2: Hysterese einer Spule auf gedrucktem Ringkern bei 20 kHz

Im Hinblick auf die Auslegung gedruckter Magnetkreise wurden Ver-

gleichsmessungen zwischen gedruckten Komponenten und einem NdFeB-Magnet mit Eisenrückschluss durchgeführt.

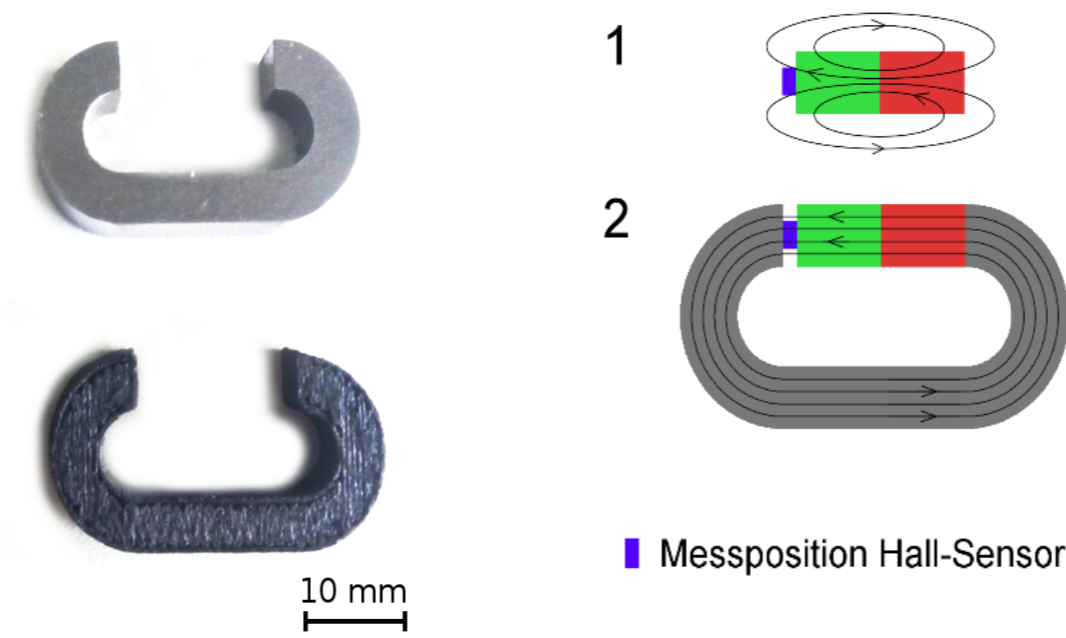


Abb. 3: Eisen- und gedruckter Rückschluss (I), Messposition für Oberflächen- und Luftspaltfeldstärke (re)

Die erreichbaren Feldstärken gedruckter Magnetkreise liegen im einstelligen Prozentbereich im Vergleich zu Magnetkreisen der selben Geometrie aus den konventionellen Werkstoffen NdFeB und Eisen.

	NdFeB	HM-1107	relativ
Oberflächenfeldstärke	382 kA m <sup>-1</sup>	23,7 kA m <sup>-1</sup>	6,2%
Ohne Rückschluss (1)			

	NdFeB+Eisen	HM+SFC	relativ
Luftspaltfeldstärke	701 kA m <sup>-1</sup>	33,4 kA m <sup>-1</sup>	4,8%
Pos. (2)			

Abb. 4: Vergleichsmessungen zwischen konventionellen Werkstoffen (NdFeB, Eisen) und gefüllten Thermoplasten

## Verarbeitbarkeit im 3D-Druck

Mate liefert die beiden gefüllten Werkstoffe als Granulat. Zur Verarbeitung im 3D-Druck ist ein Zwischenschritt erforderlich. Mittels Spritzguss werden Rundstäbe mit Durchmesser 4 mm gespritzt, die dann ein angepasster 3D-Druckextruder verarbeiten kann.

Die Verarbeitbarkeit ist maßgeblich durch zwei Phänomene bestimmt. Durch die Materialzuführung in einzelnen Stangen kann der Extruder das Material nicht zurückziehen. Deshalb tropft die offene Düse bei Sprungbewegungen, wodurch Material verloren geht. Bei der Druckteilgestaltung kann dieser Effekt jedoch berücksichtigt und somit beherrscht werden.

Druckteile aus dem Werkstoff HM-1107 neigen deutlich zu Verzug. Das Aufwölben der untersten Druckschichten beeinträchtigt die Formtreue und die Druckbetthaftung. Bricking (nach A. Guerrero-de-Mier) hat sich

als geeignet erwiesen, dem Verzug entgegen zu wirken.

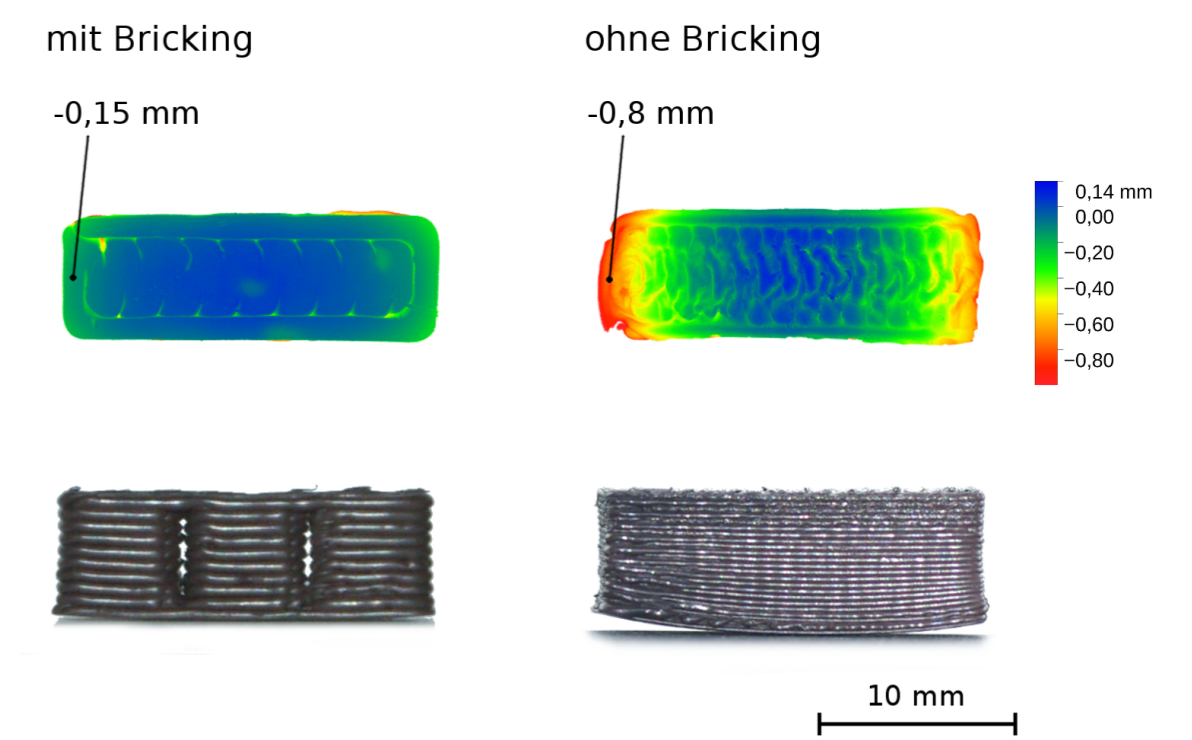


Abb. 5: Verzugsreduktion durch Bricking. Seitenansicht der Proben (unten) und Topografiemessung der jeweiligen Probenunterseite (oben)

## Demonstrator

Final wurde ein Demonstrator gedruckt, der die gewonnenen Erkenntnisse zur Verarbeitbarkeit berücksichtigt und die magnetischen Eigenschaften in eine konkrete Anwendung umsetzt. Beide Anforderungen konnten mit einem Synchronmotor in Axialflussbauweise bestmöglich umgesetzt werden. Bis auf Kupferspulen, Wälzlager und Achse besteht der Motor – speziell dessen Magnetkreis – vollständig aus 3D-gedruckten Bauteilen, teilweise mittels 2K-Druck gefertigt.

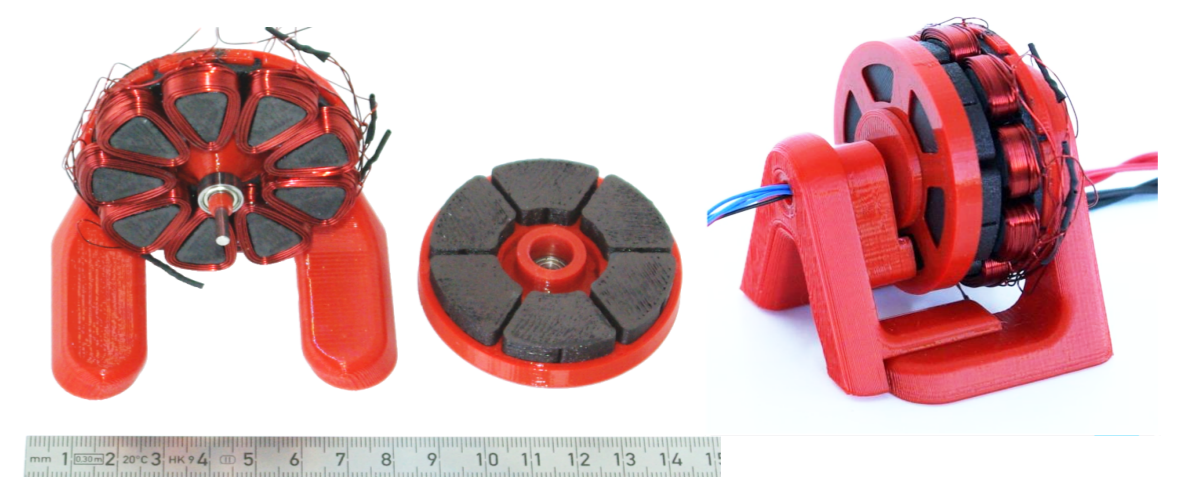


Abb. 6: Axialflussmotor auf Standfuß mit externen Hall-Sensoren für die elektronische Kommutierung

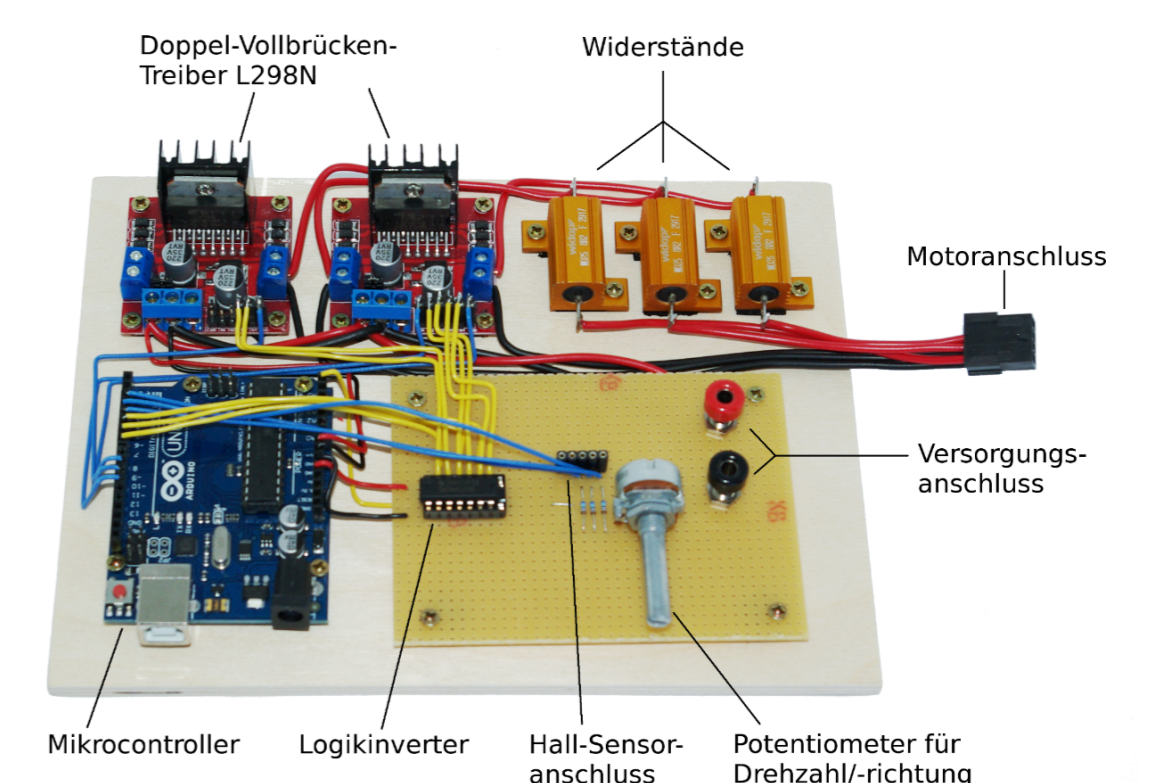


Abb. 7: Programmierbare elektronische Kommutierung, basierend auf der Arduino-Plattform

Matthias Buser, Masterarbeit am IKFF 2017

### Kontakt:

IKFF Universität Stuttgart  
 Tel.: 0711 / 685 66402  
 Fax: 0711 / 685 56402  
 E-Mail: spritzguss@ikff.uni-stuttgart.de