Westsächsische Hochschule Zwickau
University of Applied Sciences

IfP Institut für Produktionstechnik

3D-Druck von Faserverbundwerkstoffen

L. Bittner, H. Klose

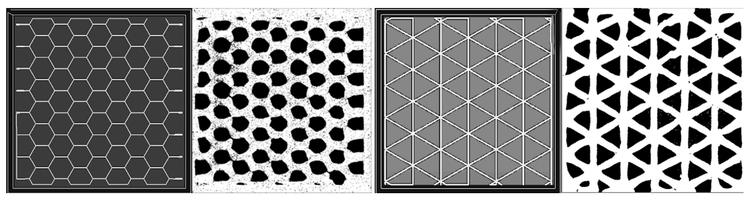
WERKSTOFF TECHNIK

Drucker

Markforged Mark Two

MFD-Drucker mit
Fused Filament Fabrication und
Continues Filament Fabrication
mit 2 Extrudern und Druckdüsen
Druckmaterial bzw. Matrixmaterial: PA6
Verstärkungsmaterial: PA6 + Endlosfasern
Arbeitsvolumen: 320x130x150 mm^3
Schichtdicke: 0,1... 0,2 mm

Matrixfilament (FFF): 0,9 mm
Verstärkungsfilament (CFF): 0,4 mm
Druckleistung im Matrixdruck: 0,06... 0,13 cm^3/min
Druckleistung im Verbunddruck: 0,05... 0,09 cm^3/min
Infill-Strukturen: 6-, 3-, 4-eckig



CAD-Bilder (links) und XCT-Bilder (rechts) der 6- und 3-eckigen Infill-Strukturen

Werkstoffe

PA6 (Matrix)

PA6-Druckfilament (Matrix)
E: 0,94 GPa
R_m: 54 MPa
$\sigma_{B,R}$: 32 MPa
HDT: 50 °C
$Izod_{unn}$: 100 kJ/m^2

PA6/CF-Kurzfasern

PA6-Filament mit CF-Kurzfasern
E: 1,4 GPa
R_m: 36 MPa
$\sigma_{B,R}$: 81 MPa
HDT: 145 °C
$Izod_{unn}$: 33 kJ/m^2
L_{Faser}: 270±60 µm
ρ: 1,18 g/cm^3
FG: 12 Vol.-%

Kohlenstofffasern

CF-Druckfilament (Endlosfasern)
E: 54 GPa
R_m: 700 MPa
$\sigma_{B,R}$: 470 MPa
HDT: 105 °C
$Izod_{unn}$: 96 kJ/m^2
Faserzahl: 800
ρ: 1,4 g/cm^3
FG: 22 Vol.-%

Glasfasern

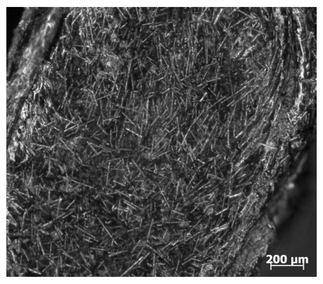
GF-Druckfilament (Endlosfasern)
E: 21 GPa
R_m: 590 MPa
$\sigma_{B,R}$: 210 MPa
HDT: 105 °C
$Izod_{unn}$: 260 kJ/m^2
Faserzahl: 400
ρ: 1,6 g/cm^3
FG: 28 Vol.-%

Aramidfasern

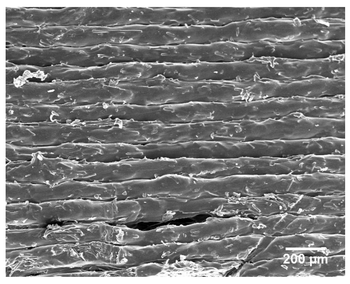
AF-Druckfilament (Endlosfasern)
E: 27 GPa
R_m: 610 MPa
$\sigma_{B,R}$: 190 MPa
HDT: 105 °C
$Izod_{unn}$: 200 kJ/m^2

PA-Druckfilament

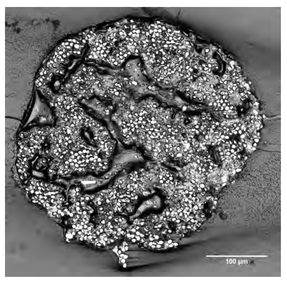
PA/CF(kurz)-Druckfilament



CF-Kurzfasern, LM-DF



PA/CF, gedruckt, REM



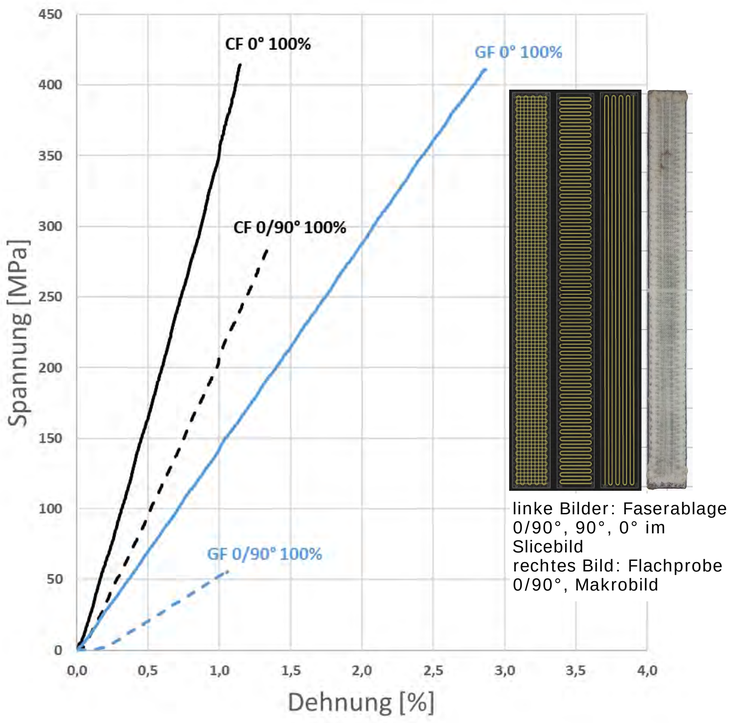
CF-Filament, LM

GF-Filament, LM

Eigenschaften

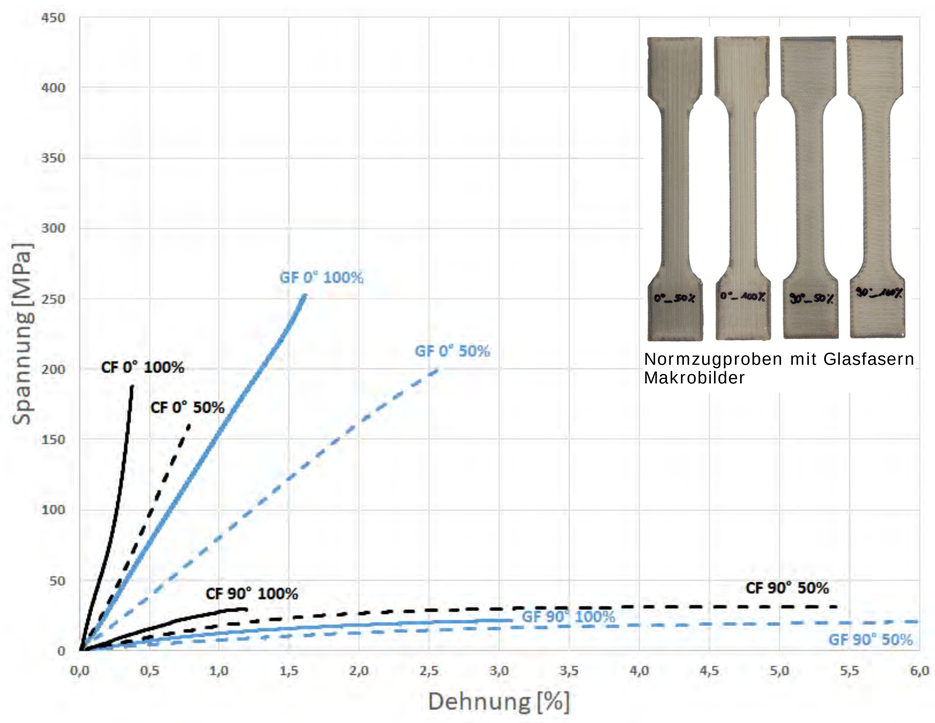
Ergebnisse aus Zugversuchen

Flachzugprobe, 6 Faserlagen, Variation der Faserorientierung mit 0° bzw 0/90°, 100% Infill-Struktur



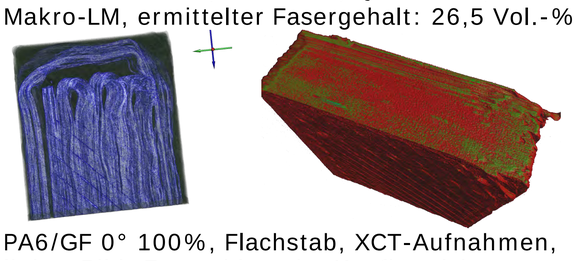
linke Bilder: Faserablage 0/90°, 90°, 0° im Slicebild
rechtes Bild: Flachprobe 0/90°, Makrobild

Normzugprobe, 6 Faserlagen, Variation der Faserorientierung mit 0° und 90° und Variation der Infill-Struktur mit 50% und 100%



Normzugproben mit Glasfasern Makrobilder

PA6/GF 0° 100%, Flachstab, Querschliff, Makro-LM, ermittelter Fasergehalt: 26,5 Vol.-%



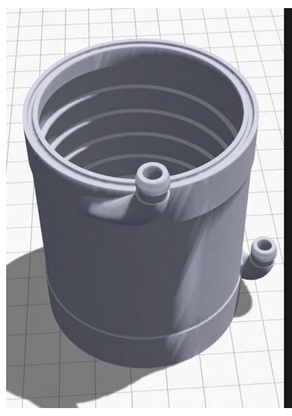
PA6/GF 0° 100%, Flachstab, XCT-Aufnahmen, linkes Bild: Faserablage im Kopfbereich

PA6/GF 0° 100%, Flachstab, Querschliff, LM

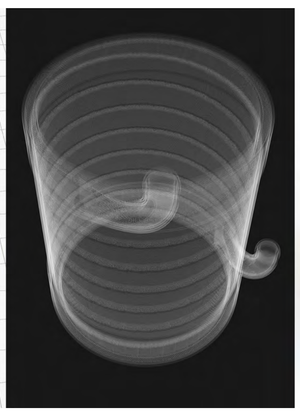
Anwendungen

Kühlhelix für E-Motor

CFD-optimierte Kühlhelix für die Wasserkühlung eines Elektromotors für den Racingeinsatz wasserdicht durch Beachtung der Konstruktionshinweise



CAD-Bild



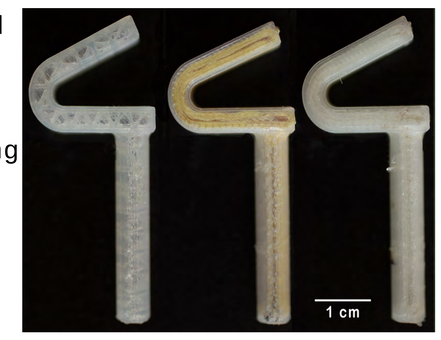
Slice-Bild

Makrobild

Material: PA/CF-Kurzfasern
Masse: 216 g
Massereduktion im Vergleich zu Al 7075: 56%

Modellbauteile für ein MTB

3D gedruckte Teile und Strukturen für Grundlagenuntersuchungen zu Konstruktion, Druck Fügen, Nachbearbeitung und Prüfung



Modellstrukturen von Sattelstützen links: PA6, mitte PA6/AF, rechts: PA6/GF (am Modell gemessenes Flexverhalten lässt auf eine Verformung von 7mm bei 750N schließen)

MTB-Rahmenmodell aus faserverstärkten Knoten (GF, CF für Knoten der Sattelstütze) verbunden mit CFK-Rohren, ermittelte Steifigkeiten des Rahmens: 140... 170 N/mm

Prüfteil für Insertaufnahme

Ziel war die Realisierung einer lastgerechten Faserablage um die Insertaufnahme. Konstruktive Lösung ist die konturnahe Ablage der Fasern an geteilten Bauteilen die kombiniert ausgedruckt werden.
Eine Erhöhung der Auszugsfestigkeit um 20 % konnte, trotz Verwendung der dichtereduzierenden Infill-Strukturen, erreicht werden.

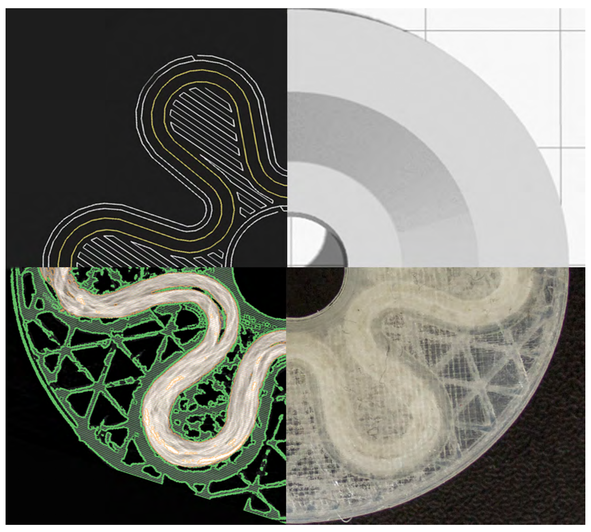
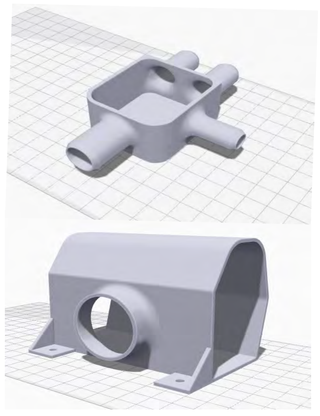


Bild:
rechts oben: CAD-Bild
rechts unten: LM-Bild
links unten: XCT-Bild
links oben: Slice-Bild mit Faserablage (gelb)

Anwendungen aus der Formula Students

3D-gedruckter Verteiler und Ausgleichsbehälter, PA6/CF-Kurzfasern

montierter und einsatzbereiter Ausgleichsbehälter



Ausgleichsbehälter und Verteiler des Kühlkreislaufs im CAD-Bild

Die dargestellten Ergebnisse beruhen auf Studienarbeiten von L. Bittner, L. Lämmel und E. Weber

Email: werkstoffe@fh-zwickau.de

Prof. Dr.-Ing. H. Klose