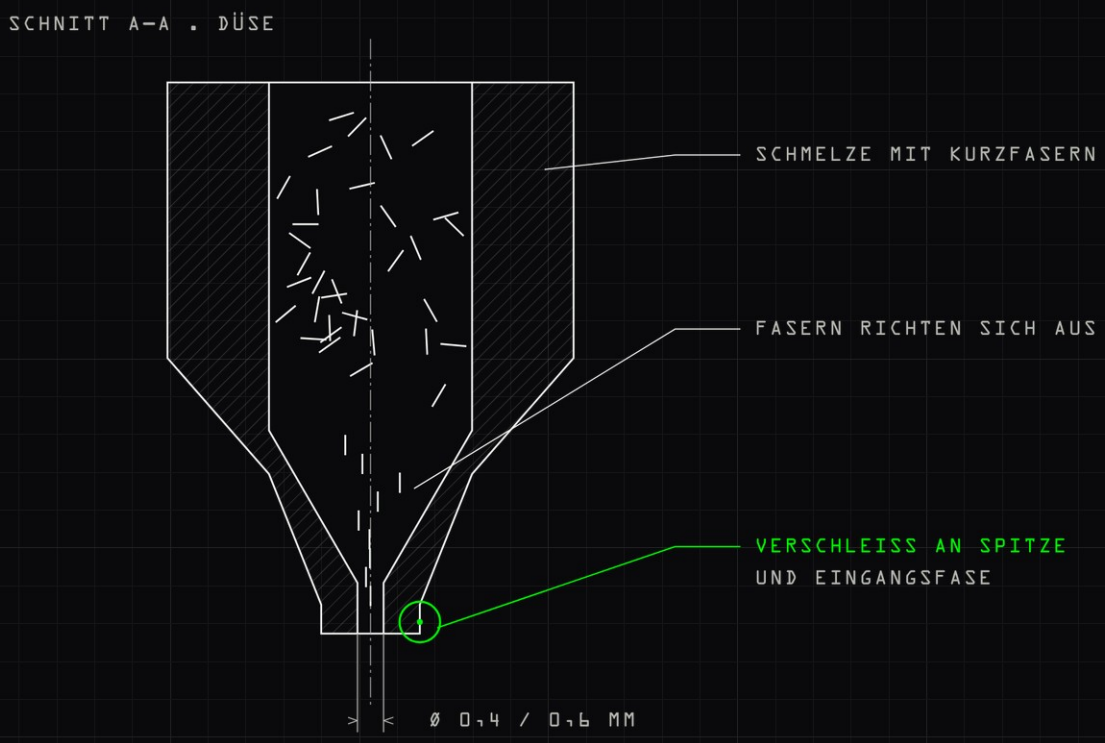
FIBERTHREE



WHITE PAPER . WP006

DÜSENWAHL GEFÜLLTE FILAMENTE

Welcher Düsenwerkstoff und welcher Durchmesser passen zu carbon- und glasfaserverstärkten Filamenten?

DOKUMENT
WP006
FIBERTHREE WHITE PAPER

STAND
11.2026
VERSION 1.0

INHALT

01 Ausgangslage 4

02 Verschleiß durch Fasern 5

Was die Forschung zeigt 5

Woran man eine verschlissene Düse erkennt 5

03 Düsenwerkstoffe im Vergleich 6

Wärmeleitfähigkeit beachten 7

04 Der richtige Durchmesser 8

Verstopfung 8

Festigkeit und Genauigkeit 8

Faustregeln 8

05 Empfehlungen je Filament 10

06 Wechsel, Pflege, Verstopfung 11

Düse wechseln 11

Verschleiß überwachen 11

Verstopfung vermeiden und lösen 11

07 Fazit 12

Quellen 12

Über Fiberthree 13

White-Paper-Reihe 13

00 . EXECUTIVE SUMMARY

Carbon- und Glasfasern schleifen Messingdüsen in kurzer Zeit ab. Eine Studie mit faserverstärktem PA6 zeigt, was das kostet: Nach rund 92 Stunden Druckzeit auf einer vernickelten Messingdüse sank die Zugfestigkeit der gedruckten Proben um 37 %, der E-Modul von etwa 10,3 auf 6,3 GPa.

AUF EINEN BLICK

- **Werkstoff:** Für gefüllte Filamente mindestens gehärteter Stahl, bei hohem Verbrauch Hartmetall oder eine Verbunddüse mit hartem Einsatz. Messing nur für ungefüllte Filamente.
- **Temperatur:** Mit Stahldüsen 5 bis 15 °C höher drucken, weil Stahl die Wärme schlechter leitet.
- **Durchmesser:** 0,4 mm als Minimum, 0,6 mm für Funktionsbauteile. Größere Düsen verstopfen seltener und liefern meist festere Bauteile, kleinere sind maßgenauer.
- **Überwachen:** Bahnbreite eines Referenzkörpers messen und Düsen tauschen, bevor die Bauteilqualität sinkt.

Empfehlung: Für gefüllte Filamente mindestens gehärteten Stahl verwenden, bei hohem Verbrauch Hartmetall, und den Verschleiß regelmäßig messen.

− 37 %	6,3 GPa	0,6 mm
Zugfestigkeit nach ca. 92 h auf Messing	E-Modul danach, vorher 10,3 GPa	Durchmesser für Funktionsbauteile

01 AUSGANGSLAGE

Die Düse ist das Bauteil im Drucker, das jede Faser berührt. Bei ungefüllten Filamenten hält eine Messingdüse viele Kilogramm durch. Carbon- und Glasfasern dagegen wirken wie ein Schleifmittel: Sie tragen weiche Düsen in kurzer Zeit ab, verändern deren Geometrie und damit Maßhaltigkeit, Oberfläche und Festigkeit der Bauteile.

Zwei Entscheidungen sind bei gefüllten Filamenten zu treffen:

- **Der Düsenwerkstoff** bestimmt, wie lange die Düse ihre Geometrie hält.
- **Der Düsendurchmesser** bestimmt, ob die Fasern sicher durchlaufen, wie fein Details werden und wie fest das Bauteil wird.

Dieses Paper beschreibt beides und gibt Empfehlungen für die faserverstärkten Fiberthree-Filamente.

Die Kapitel beginnen mit dem Verschleiß selbst, vergleichen dann die Düsenwerkstoffe und den Durchmesser, geben Empfehlungen für jedes faserverstärkte Fiberthree-Filament und schließen mit Hinweisen zu Wechsel, Pflege und Verstopfung.

ABB. 1: SCHEMASKIZZE

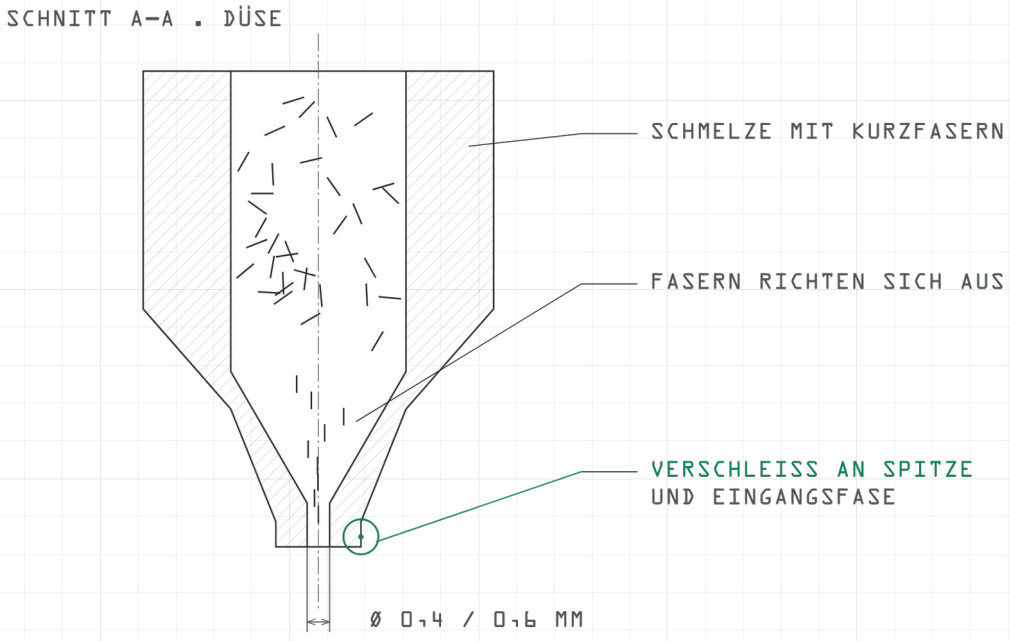


ABB. 1 Düse im Schnitt mit sich ausrichtenden Kurzfasern, schematisch, nicht maßstäblich.

02 VERSCHLEISS DURCH FASERN

Beim Extrudieren gleiten die Fasern mit der Schmelze an der Düsenwand entlang und tragen sie ab. Am stärksten betroffen sind die Stellen mit der höchsten Strömungsgeschwindigkeit und dem engsten Kontakt: die Fase am Eingang der Bohrung und die Düsenspitze, die zusätzlich über die gedruckte Oberfläche streift.

WAS DIE FORSCHUNG ZEIGT

Bianchi et al. haben 2024 eine vernickelte Messingdüse mit 0,4 mm über mehr als 90 Stunden mit einem PA6 mit 20 % Kurzcarbonfasern betrieben und in Abständen Zugproben gedruckt [Bianchi et al. 2024]:

MESSGRÖSSE	NEUE DÜSE	NACH CA. 92 H (5.540 MIN)
Zugfestigkeit	122,3 MPa	76,7 MPa (– 37 %)
E-Modul	ca. 10,3 GPa	ca. 6,3 GPa
Bruchdehnung	1,9 %	3,4 %
Rauheit Ra der Düse	1,7 µm	14,1 µm

TAB. 1 Einfluss des Düsenverschleißes auf gedruckte Proben aus PA6 mit 20 % Kurzcarbonfasern, nach Bianchi et al. 2024.

In den ersten 15 Stunden fiel die Festigkeit nur um etwa 7 %, danach deutlich schneller. Der Abtrag lag vor allem an der Spitze und an der Eingangsfase. Die Folgen im Bauteil waren mehr Poren, ungleichmäßige Bahnbreiten und eine schlechtere Faserausrichtung.

WORAN MAN EINE VERSCHLISSENE DÜSE ERKENNT

- Bahnen werden breiter oder ungleichmäßig, Maße wachsen.
- Die Oberfläche wird rauer, die Düsenspitze zieht Riefen.
- Die Spitze ist abgerundet statt plan, der Austritt nicht mehr kreisrund.
- Unter- oder Überextrusion, obwohl Fluss und Temperatur unverändert sind.

Schon eine leicht verschlissene Düse kostet also Festigkeit, lange bevor sie sichtbar kaputt ist.

03 DÜSENWERKSTOFFE IM VERGLEICH

Eine Düse für gefüllte Filamente muss deutlich härter sein als die Fasern, und sie sollte die Wärme trotzdem gut übertragen. Beides zugleich bieten nur Hartmetall und Verbunddüsen mit hartem Einsatz.

WERKSTOFF	HÄRTE (CA.)	WÄRMELEITFÄHIGKEIT	EIGNUNG FÜR CF/GF	HINWEISE
Messing	100–150 HV	sehr gut	nicht geeignet	Standard für ungefüllte Filamente. Mit Fasern schon nach wenigen hundert Gramm spürbar verschlissen
Messing vernickelt / beschichtet	Grundkörper wie Messing	sehr gut	nicht geeignet	Beschichtung verbessert das Ablösen, nicht die Verschleißfestigkeit
Edelstahl	ca. 200 HV	gering	bedingt	Für Lebensmittelkontakt gedacht, verschleißt mit Fasern ebenfalls
Gehärteter Werkzeugstahl	ca. 600–700 HV	gering	gut	Günstiger Standard für gefüllte Filamente. Temperatur etwas erhöhen
Hartmetall (Wolframcarbid)	ca. 1.500–1.800 HV	gut	sehr gut	Sehr verschleißfest bei guter Wärmeübertragung. Unsere Empfehlung für Vielverbraucher
Messing oder Kupfer mit Rubin- oder Hartmetalleinsatz	Einsatz ca. 2.000 HV	gut	sehr gut	Harter Einsatz nur an der Spitze. Auf stufenlosen Schmelzkanal achten
Diamant (PCD)	über 8.000 HV	gut	sehr gut	Praktisch verschleißfrei, teuer

TAB. 2 Düsenwerkstoffe im Vergleich.

Die Härtewerte sind typische Größenordnungen der Werkstoffe. Je nach Hersteller und Wärmebehandlung weichen sie ab.

WÄRMELEITFÄHIGKEIT BEACHTEN

Stahl leitet Wärme deutlich schlechter als Messing. Bei gleicher Solltemperatur kommt die Schmelze kälter an der Spitze an, besonders bei hohem Durchsatz. Mit einer gehärteten Stahldüse deshalb die Düsentemperatur um 5 bis 15 °C erhöhen oder langsamer drucken. Hartmetall und Verbunddüsen brauchen meist keine Korrektur.

Für die Auswahl genügt meist eine einfache Abwägung: Wie viel gefülltes Filament wird gedruckt, und wie wichtig ist eine gleichbleibende Bauteilqualität über lange Zeit? Wer gelegentlich faserverstärkt druckt, kommt mit gehärtetem Stahl gut zurecht. Wer regelmäßig oder in Serie druckt, spart mit Hartmetall oder einer Verbunddüse Wechsel und Nacharbeit.

Wichtig ist bei jedem Werkstoff ein glatter, stufenloser Schmelzkanal. Kanten und Absätze im Inneren der Düse begünstigen Ablagerungen und Verstopfungen, unabhängig von der Härte.

04 DER RICHTIGE DURCHMESSER

Größere Düsen sind bei gefüllten Filamenten fast immer die bessere Wahl. Sie verstopfen seltener, drucken schneller und liefern meist festere Bauteile. Kleine Düsen lohnen sich nur, wenn feine Details oder hohe Maßgenauigkeit gefragt sind.

VERSTOPFUNG

Die Fasern müssen den engsten Querschnitt der Düse passieren, ohne sich zu verkeilen. Simulationen zeigen, dass die Verstopfungsgefahr mit der Faserlänge und dem Faseranteil steigt [Zhang et al. 2021]. Bei kurzen Fasern hilft eine niedrigere Viskosität der Schmelze, also eine etwas höhere Temperatur. Bei langen Fasern hilft nur ein größerer Durchmesser.

FESTIGKEIT UND GENAUIGKEIT

Chacón et al. haben kurzcarbonfaserverstärktes Polyamid mit verschiedenen Düsendurchmessern gedruckt [Chacón et al. 2021]:

- **Größere Düsen** erhöhten tendenziell die mechanischen Kennwerte und senkten die Fertigungskosten durch kürzere Druckzeit.
- **Kleinere Düsen** lieferten eine höhere Maßgenauigkeit.
- **Oberflächenrauheit und Ebenheit** hingen nur schwach vom Durchmesser ab.

Auch Bianchi et al. empfehlen nach ihren Verschleißversuchen, größere Düsen in Betracht zu ziehen [Bianchi et al. 2024].

FAUSTREGELN

DÜSE	EINSATZ MIT GEFÜLLTEN FILAMENTEN
0,25–0,3 mm	nur für feine Details, wenn das Datenblatt es zulässt. Erhöhtes Verstopfungsrisiko
0,4 mm	Standard für Bauteile mit Details, Mindestgröße für die meisten CF/GF-Filamente
0,6 mm	empfohlen für Funktionsbauteile: sicherer Durchlauf, höhere Festigkeit, kürzere Druckzeit
0,8 mm und größer	große, massive Bauteile, Vorrichtungen. Details und Gewinde werden grob

TAB. 3 Faustregeln für den Düsendurchmesser bei gefüllten Filamenten.

Die Schichthöhe liegt sinnvoll bei 40 bis 70 % des Düsendurchmessers. Zu dünne Schichten erhöhen bei gefüllten Filamenten den Gegendruck und die Verstopfungsgefahr.

Für die Festigkeit zwischen den Schichten zahlt sich ein großer Durchmesser aus: Bei PLA stieg sie bei gleicher Schichthöhe mit der größeren Düse, und der Vorteil wuchs mit der Schichthöhe. Über den ganzen Bereich der Schichthöhen änderte sie sich um etwa den Faktor 3,5 (Kuznetsov et al. 2018). Wie Temperatur und Geschwindigkeit hinzukommen, zeigt WP009.

In der Praxis hat sich bewährt, mit 0,6 mm als Standard für faserverstärkte Funktionsbauteile zu beginnen und nur dann kleiner zu werden, wenn Details oder Maßgenauigkeit es verlangen. Schichthöhe und Linienbreite sollten dabei immer zum Durchmesser passen.

Wer die Düse wechselt, sollte Wandstärken und Details im CAD prüfen, denn eine größere Düse legt breitere Bahnen ab.

05 EMPFEHLUNGEN JE FILAMENT

FILAMENT	FÜLLUNG	DÜSENWERKSTOFF	DURCHMESSER
F3 PA-CF PRO	15 % Carbonfaser	gehärteter Stahl, besser Hartmetall	0,4–0,6 mm, laut Datenblatt ab 0,25 mm möglich
F3 PA-GF PRO	15 % Glasfaser	gehärteter Stahl oder Hartmetall	0,4–0,6 mm
F3 PA-GF30 PRO	30 % Glasfaser	Hartmetall oder Verbunddüse mit hartem Einsatz	0,6 mm, Datenblatt-Probekörper mit 0,6 mm gedruckt
F3 PA-CF LITE	15 % Carbonfaser	gehärteter Stahl, besser Hartmetall	0,4–0,6 mm
F3 PC CF 150	Carbonfaser	gehärteter Stahl oder Hartmetall	0,4–0,6 mm
F3 PP GF 25	25 % Glasfaser	gehärteter Stahl oder Hartmetall	ab 0,4 mm laut Datenblatt
F3 PLA GF	Glasfaser	gehärteter Stahl	ab 0,4 mm
F3 PA ESD	leitfähig modifiziert	gehärteter Stahl empfohlen	0,4 mm
F3 PA PURE PRO, F3 PA PURE LITE, F3 PA ORTHO	ungefüllt	Messing ausreichend	ab 0,2–0,25 mm laut Datenblatt
F3 TPU 80A, F3 TPU 98A	ungefüllt	Messing ausreichend	0,4 mm und größer

TAB. 4 Düsenempfehlung je Fiberthree-Filament.

Wer gefüllte und ungefüllte Filamente im Wechsel druckt, fährt mit einer Hartmetall- oder Verbunddüse am einfachsten. Sie eignet sich für beides, ohne dass die Düse gewechselt werden muss.

06 WECHSEL, PFLEGE, VERSTOPFUNG

DÜSE WECHSELN

- Immer im warmen Zustand wechseln und mit dem vom Hersteller angegebenen Drehmoment anziehen. Bei kalt gewechselten Düsen tritt sonst Schmelze am Gewinde aus.
- Nach dem Wechsel Fluss und Temperatur am Probekörper prüfen, besonders beim Wechsel von Messing auf Stahl.

VERSCHLEISS ÜBERWACHEN

- Bahnbreite oder Wandstärke eines Referenzkörpers regelmäßig messen. Wird sie breiter, ist die Düse verschlissen.
- Druckzeit oder verdruckte Menge je Düse dokumentieren. So lässt sich ein Wechselintervall festlegen, bevor die Bauteilqualität leidet.
- Messingdüsen, mit denen gefüllte Filamente gedruckt wurden, nicht weiterverwenden.

VERSTOPFUNG VERMEIDEN UND LÖSEN

- **Trockenes Filament:** Feuchtigkeit verschlechtert den Fluss und führt zu Ablagerungen (WP002).
- **Keine zu dünnen Schichten** und keine zu kleinen Düsen (Kapitel 04).
- **Nicht lange auf Temperatur warten lassen,** ohne zu extrudieren. Die Schmelze zersetzt sich und setzt sich in der Düse ab.
- **Kalt- oder Warmzug:** Filament bei leicht abgesenkter Temperatur einführen und ziehen. Ungefülltes Polyamid wie F3 PA Pure Pro eignet sich dank seiner Zähigkeit gut dafür.
- **Keine Nadeln aus weichem Stahl** in harte Einsatzdüsen stecken. Der Einsatz kann beschädigt werden.

07 FAZIT

Carbon- und Glasfasern schleifen weiche Düsen ab, und schon eine leicht verschlissene Düse kostet Festigkeit, lange bevor sie sichtbar kaputt ist. Für gefüllte Filamente gehört deshalb eine verschleißfeste Düse in den Drucker, und der Durchmesser sollte eher größer als kleiner gewählt werden. Wer die Bahnbreite eines Referenzkörpers überwacht, tauscht die Düse, bevor die Bauteile leiden.

Die Empfehlungen je Filament in Kapitel 05 sind ein guter Ausgangspunkt. Für die eigene Anwendung lohnt sich ein Probedruck mit dem gewählten Durchmesser, bevor eine Serie startet.

QUELLEN

[1] Kuznetsov, Solonin, Urzhumtsev, Schilling, Tavitov: Strength of PLA Components Fabricated with Fused Deposition Technology Using a Desktop 3D Printer as a Function of Geometrical Parameters of the Process. Polymers 10(3), 313, 2018. https://doi.org/10.3390/polym10030313

[2] Bianchi, Mancia, Mignanelli, Simoncini: Effect of nozzle wear on mechanical properties of 3D printed carbon fiber-reinforced polymer parts by material extrusion. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 130, 4699–4712, 2024. https://doi.org/10.1007/s00170-024-13035-7

[3] Chacón, Caminero, Núñez, García-Plaza, Bécar: Effect of nozzle diameter on mechanical and geometric performance of 3D printed carbon fibre-reinforced composites manufactured by fused filament fabrication. Rapid Prototyping Journal 27(4), 769–784, 2021. https://doi.org/10.1108/RPJ-10-2020-0250

[4] Zhang et al.: Fibre bridging and nozzle clogging in 3D printing of discontinuous carbon fibre-reinforced polymer composites: coupled CFD-DEM modelling. Int. J. Adv. Manuf. Technol., 2021. https://doi.org/10.1007/s00170-021-07913-7

ÜBER FIBERTHREE

Fiberthree entwickelt und produziert technische Filamente für den FFF-Druck in Darmstadt, mit Polyamid als Herzstück des Portfolios. Aus dem Hintergrund als Ingenieurbüro bieten wir darüber hinaus Engineering, Schulungen und Lohnfertigung auf über 30 Druckern an, vom Erstmuster bis zur Kleinserie.

WHITE-PAPER-REIHE

Alle White Paper finden Sie auf www.fiberthree.com. Wir aktualisieren die Reihe laufend, maßgeblich ist jeweils die neueste Fassung.

NR.	THEMA	HILFT BEI
WP001	Kunststoffe für den FFF-Prozess: Materialübersicht und Verfahrensvergleich	Werkstoff und Verfahren wählen
WP002	Einfluss von Feuchtigkeit auf Polymere im FFF-Prozess	Filament trocknen und trocken halten
WP003	Tempern und Nachbehandlung von FFF-Bauteilen	Tempern, Konditionieren, Nachbearbeiten
WP004	Fertigungsgerechtes Konstruieren für den FFF-Prozess	Bauteile FFF-gerecht auslegen
WP005	Gewindeeinsätze in FFF-Bauteile einschmelzen	Lösbare Schraubverbindungen
WP006	**Düsenwahl für gefüllte Filamente (dieses Paper)**	**Düsenwerkstoff und -durchmesser**
WP007	Druckbett und Haftung	Haftung der ersten Schicht
WP008	Elektrostatisch ableitfähige Bauteile (ESD) im FFF-Druck	ESD-Bauteile drucken und prüfen
WP009	Lagenhaftung in Aufbaurichtung: Düsentemperatur, Druckgeschwindigkeit und Hotend	Festigkeit in z-Richtung

TAB. 5 Übersicht der Fiberthree White Paper.

FIBERTHREE

START WITH THE RIGHT MATERIAL

ANSCHRIFT

DARMSTADT

FIBERTHREE GMBH
OTTO-HESSE-STR. 19
64293 DARMSTADT

KONTAKT

TELEFON

+49 6151 734 75 900 .
FIBERTHREE.COM

QUALITÄT

ISO 9001

DIN EN ISO 9001:2015 .
INKL. LOHNFERTIGUNG