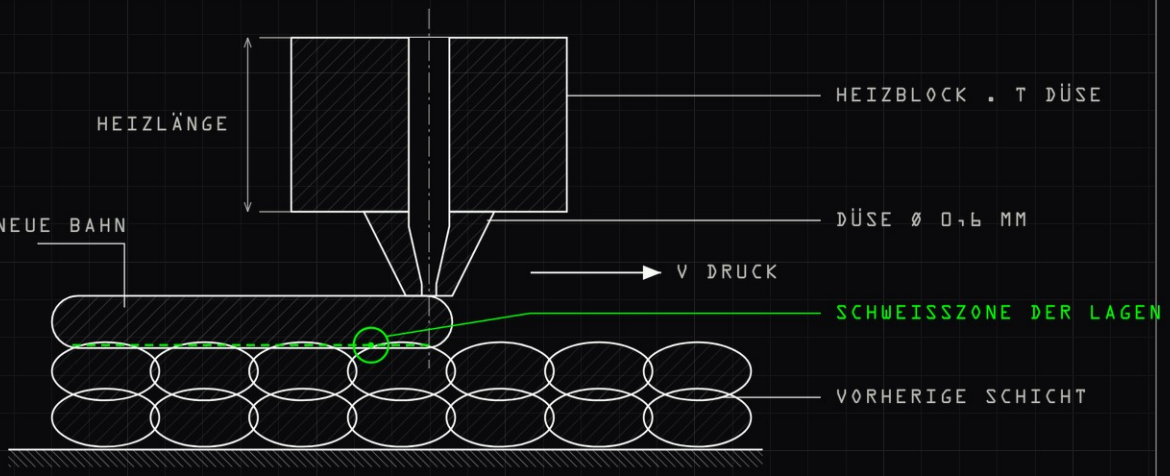
FIBERTHREE

DETAIL B . LAGENVERSCHWEISSUNG



WHITE PAPER . WP009

LAGENHAFTUNG IN AUFBAURICHTUNG

Wie Düsentemperatur, Druckgeschwindigkeit und Hotend die Festigkeit in z bestimmen. Mit Versuchsreihe an F3 PA Pure Pro.

DOKUMENT
WP009
FIBERTHREE WHITE PAPER

STAND
11.2026
VERSION 1.0

INHALT

01 Ausgangslage 4
02 Warum z schwächer ist 5
03 Stand der Forschung 6
04 Prüfen in Aufbaurichtung 7
05 Versuchsreihe 8
06 Ergebnisse 9
Temperatur ist der stärkste Hebel 10
Der Heizblock bestimmt die Stabilität, nicht das Maximum 10
Einordnung 11
07 Empfehlungen für den Druck 12
08 Grenzen der Untersuchung 13
09 Fazit 14
Quellen 14
Über Fiberthree 16
White-Paper-Reihe 16

00 . EXECUTIVE SUMMARY

Ein FFF-Bauteil ist in Aufbaurichtung (z) am schwächsten, weil jede neue Schicht nur auf die bereits abgekühlte Schicht darunter aufgeschweißt wird. Wie gut diese Verschweißung gelingt, entscheidet über die Festigkeit vieler Funktionsbauteile.

In einer Versuchsreihe mit 360 stehend gedruckten Zugproben aus F3 PA Pure Pro wurden drei Größen variiert: Düsentemperatur, Druckgeschwindigkeit und die Länge des Heizblocks. Die Temperatur erwies sich als wichtigster Hebel, die Geschwindigkeit als zweiter. Die Länge des Heizblocks hatte auf die erreichbare Festigkeit keinen messbaren Einfluss. Die beste Kombination erreichte 33,1 MPa in z, die ungünstigste nur 1,0 MPa.

AUF EINEN BLICK

- **Die Aufbaurichtung ist die Schwachstelle:** Jede Schicht wird nur auf die abgekühlte Schicht darunter aufgeschweißt.
- **Temperatur ist der stärkste Hebel:** etwa 6 MPa mehr Festigkeit je 10 K; bei 285 °C erreichte F3 PA Pure Pro bis 33,1 MPa in z.
- **Geschwindigkeit kostet Festigkeit:** etwa 1,8 MPa je 10 mm/s, bei niedriger Temperatur deutlich mehr.
- **Ein langer Heizblock** macht die Festigkeit gleichmäßiger, hebt aber nicht das Maximum.

Empfehlung: Z-belastete Bauteile aus F3 PA Pure Pro bei 275 bis 285 °C und 20 bis 30 mm/s drucken, ohne Bauteillüfter, und Zug in z konstruktiv vermeiden.

33,1 MPa	≈ 6 MPa	360
Zugfestigkeit in z, beste Kombination, 285 °C, 30 mm/s	mehr Festigkeit je 10 K Düsentemperatur	Zugproben aus F3 PA Pure Pro

01 AUSGANGSLAGE

Hersteller von Filamenten geben die Festigkeit meist für liegend gedruckte Proben an. In Aufbaurichtung liegt sie deutlich darunter, bei allen Kunststoffen und auf allen Druckern. Für Konstrukteure ist dieser Wert aber oft der entscheidende, denn kaum ein Bauteil lässt sich so ausrichten, dass nirgends Zug über die Schichtgrenzen wirkt.

Die Fachliteratur zur FFF-Festigkeit ist umfangreich, konzentriert sich aber auf geometrische Parameter wie Lage im Bauraum, Rasterwinkel, Schichthöhe und Füllgrad. Thermische Größen wie Düsentemperatur und Druckgeschwindigkeit sind deutlich seltener untersucht, und die Bauart des Druckers, etwa die Länge der Heizzone, fast gar nicht.

Dieses Paper fasst eine Untersuchung zusammen, die genau diese Lücke für Polyamid schließt. Sie entstand als Studienarbeit an der TU Darmstadt, Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren, mit Unterstützung von Fiberthree [1]. Dazu stellen wir die Ergebnisse in den Zusammenhang mit der Literatur und leiten Empfehlungen für den Druck ab.

Dieses Paper ist Teil unserer Whitepaper-Reihe (Übersicht in WP001). WP004 zeigt, wie man z-Lasten konstruktiv vermeidet, WP002 und WP003 behandeln Trocknung und Tempern, die ebenfalls auf die Lagenhaftung wirken.

ABB. 1: SCHEMASKIZZE
DETAIL B . LAGENVERSCHWEISSUNG

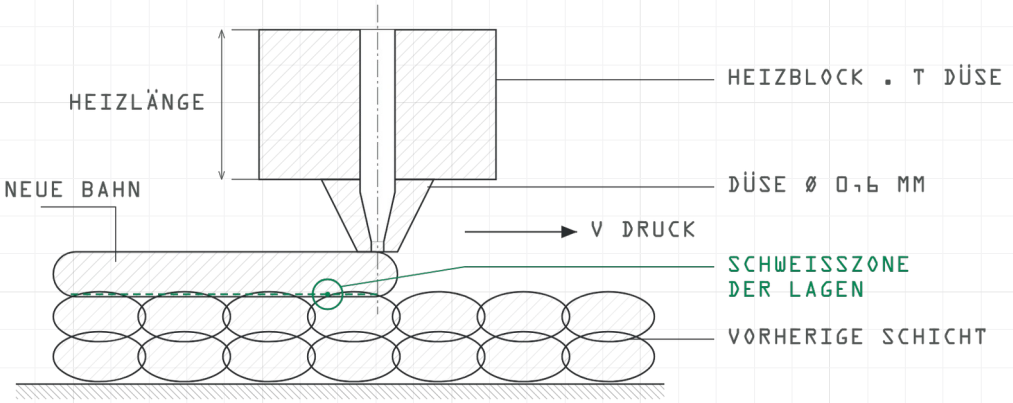


ABB. 1 Neue Bahn wird auf die vorherige Schicht aufgeschweißt, Schweißzone zwischen den Lagen, schematisch, nicht maßstäblich.

02 WARUM Z SCHWÄCHER IST

Zwei Kunststoffteile verschweißen nur, wenn an der Fügefläche genug Wärme, genug Zeit und ausreichend Druck zusammenkommen. Erst dann können sich die Molekülketten beider Seiten durchdringen und verschlaufen [2]. Im Spritzguss oder beim Heizelementschweißen lassen sich alle drei Größen gezielt einstellen.

Im FFF-Druck sind die Bedingungen ungünstiger. Die neue Bahn wird nahezu drucklos abgelegt. Ihr Massestrom ist sehr klein, sie kühlt deshalb schnell ab und bleibt nur kurz heiß. Die Schicht darunter ist bereits erkaltet und wird nur von der Wärme der neuen Bahn wieder angeschmolzen. Innerhalb einer Schicht ist die Nachbarbahn oft noch warm; zwischen den Schichten ist die Verbindung am schwächsten.

Die einzige Stellgröße ist deshalb die Wärme, die die Schmelze aus der Düse mitbringt, und die Restwärme der Schicht darunter. Beide hängen von der Düsentemperatur, der Druckgeschwindigkeit, der Kühlung und der Bauart des Hotends ab.

Zu viel Wärme schadet allerdings ebenfalls: Bleibt die Schmelze zu lange zu heiß, können die Molekülketten abgebaut werden und Gase entstehen. Die Festigkeit sinkt dann wieder [11].

03 STAND DER FORSCHUNG

Drei Übersichtsarbeiten werten zusammen rund 250 Studien, teils überschneidend, zur Festigkeit von FFF-Bauteilen aus [3, 4, 5]. Am häufigsten untersucht sind Rasterwinkel, Schichthöhe und Lage im Bauraum. Wo die Lage untersucht wurde, hatte sie den größten Einfluss auf die Zugfestigkeit [4]. Extrusionstemperatur und Druckgeschwindigkeit kommen nur in jeweils zwei bis acht der ausgewerteten Arbeiten vor; Heizleistung, Düsenlänge oder Filamentdurchmesser in keiner.

Die vorhandenen Studien zu thermischen Größen zeigen ein einheitliches Bild:

- **Lage im Bauraum:** Stehend gedruckte PLA-Proben versagen zwischen den Schichten, spröde und mit den niedrigsten Kennwerten. Liegend und hochkant gedruckte Proben brechen durch die Bahnen hindurch und sind deutlich fester [6].
- **Düsentemperatur:** Bei ABS stieg die Bruchzähigkeit zwischen den Schichten um 38 %, wenn die Düsentemperatur von 220 auf 240 °C erhöht wurde. Rund 15 % gehen auf eine bessere Haftung zurück, 23 % auf eine größere Kontaktfläche zwischen den Bahnen [7]. Auch die Dicke der Schweißzone wächst mit der Temperatur [8].
- **Restwärme der Schicht darunter:** Temperatur, Lüfter, Geschwindigkeit und Schichtzeit lassen sich auf zwei Größen zurückführen, die Temperatur der vorherigen Schicht und das tatsächlich geförderte Materialvolumen. Werden beide erhöht, nähert sich die Festigkeit zwischen den Schichten der des kompakten Werkstoffs [9].
- **Schichthöhe und Düse:** Bei PLA sank die Festigkeit quer zu den Schichten von der kleinsten zur größten Schichthöhe um etwa den Faktor 3,5. Eine größere Düse bei gleicher Schichthöhe erhöhte sie [10]. Bei ABS brach die Bruchzähigkeit bei 0,3 mm Schichthöhe auf etwa ein Drittel ein [7].
- **Wärmeübergang im Hotend:** Der Wärmeübergang in der Heizzone begrenzt, wie schnell gedruckt werden kann. Gemessen wurde nur etwa die Hälfte des erwarteten Werts, unter anderem wegen Ablagerungen in der Schmelzzone [11]. Schnellere Drucker brauchen deshalb eine wirksamere Beheizung des Filaments [12].
- **Drucker:** Dieselben Parameter wirken auf verschiedenen Druckern unterschiedlich stark. Optimale Einstellungen lassen sich deshalb nicht ohne Prüfung von einem Gerät auf ein anderes übertragen [13, 3].

04 PRÜFEN IN AUFBAURICHTUNG

Für die Zugprüfung von Kunststoffen gilt DIN EN ISO 527. Für additiv gefertigte Proben empfiehlt die Richtlinie VDI 3405, Prüfkörper vom Typ 1A stehend zu drucken [1]. In der Praxis zeigten sich damit zwei Probleme:

- **Standfestigkeit:** Der Typ 1A steht auf nur 40 mm² Grundfläche. In Vorversuchen löste sich bei jedem von vier Durchgängen mindestens eine von sechs Proben vom Druckbett und fiel um.
- **Kurze Bahnen:** Im Messbereich von 10 × 4 mm erreicht die Düse die eingestellte Geschwindigkeit kaum. Zwei Proben, die sich rechnerisch in der Druckzeit um 30 % hätten unterscheiden sollen, unterschieden sich nur um 14 %.

Für die Untersuchung wurde deshalb ein eigener Prüfkörper entworfen. Er ist höchstens 100 mm hoch, hat 55 mm breite Einspannschultern, einen Übergangsradius von 22,1 mm und eine Tiefe von 4,8 mm, also ein ganzzahliges Vielfaches der Bahnbreite von 0,6 mm. Die Kanten sind abgerundet, damit der Druckkopf nicht nachschwingt.

Die Bahnen sind damit 3,5-mal so lang wie beim Typ 1A, die Grundfläche wuchs auf 227 mm². In der Validierung fiel keine Probe mehr um, und der Prüfkörper bildete den Einfluss der Druckgeschwindigkeit deutlich ab.

Für die Praxis heißt das: Wer die z-Festigkeit eines Werkstoffs oder einer Druckeinstellung prüft, sollte Prüfkörper mit langen, geschlossenen Bahnen und breiter Standfläche verwenden. Der Vergleich ist nur innerhalb derselben Prüfkörperform aussagekräftig.

05 VERSUCHSREIHE

Untersucht wurde F3 PA Pure Pro, ein Polyamid 6 ohne Farbmasterbatch. Die DSC-Messung nach DIN EN ISO 11357 ergab einen Glasübergang bei 72,7 °C und einen Schmelzpeak bei 236,1 °C; ab etwa 255 °C ist das Material vollständig aufgeschmolzen [1]. Daraus ergab sich die untere Grenze der Versuchsreihe.

Variiert wurden drei Größen:

GRÖSSE	STUFEN	WERTE
Heizblock	3	V6 (11,5 mm), Volcano (20 mm), SuperVolcano (50 mm)
Düsentemperatur	4	255, 265, 275 und 285 °C
Druckgeschwindigkeit	5	20, 30, 40, 50 und 60 mm/s

TAB. 1 Variierte Größen der Versuchsreihe.

Daraus ergaben sich 60 Kombinationen mit je sechs Proben, insgesamt 360 Zugproben, 480 Druckstunden und knapp 11 kg Material.

Gedruckt wurde auf drei baugleichen Druckern mit Direktextruder, Kupfer-Heizblock, Titan-Heatbreak und gehärteter 0,6-mm-Stahldüse, die sich nur im Hotend unterschieden. Die übrigen Einstellungen waren für alle Proben gleich: Bahnbreite 0,6 mm, Schichthöhe 0,25 mm, Bauteillüfter aus, die ganze Probe aus Wänden ohne Deck- und Bodenschichten. Das Filament wurde vor dem Druck 24 Stunden getrocknet und aus Trockenboxen verarbeitet.

Die Proben wurden mindestens eine Woche bei 20 °C und 50 % relativer Feuchte konditioniert und an der TU Berlin auf einer Universalprüfmaschine Zwick/Roell Z050 gezogen.

06 ERGEBNISSE

Die Festigkeit stieg erwartungsgemäß, je heißer und langsamer gedruckt wurde. Alle drei Hotends erreichten im besten Fall vergleichbare Werte um 30 MPa:

ABB. 2: ERGEBNISSE

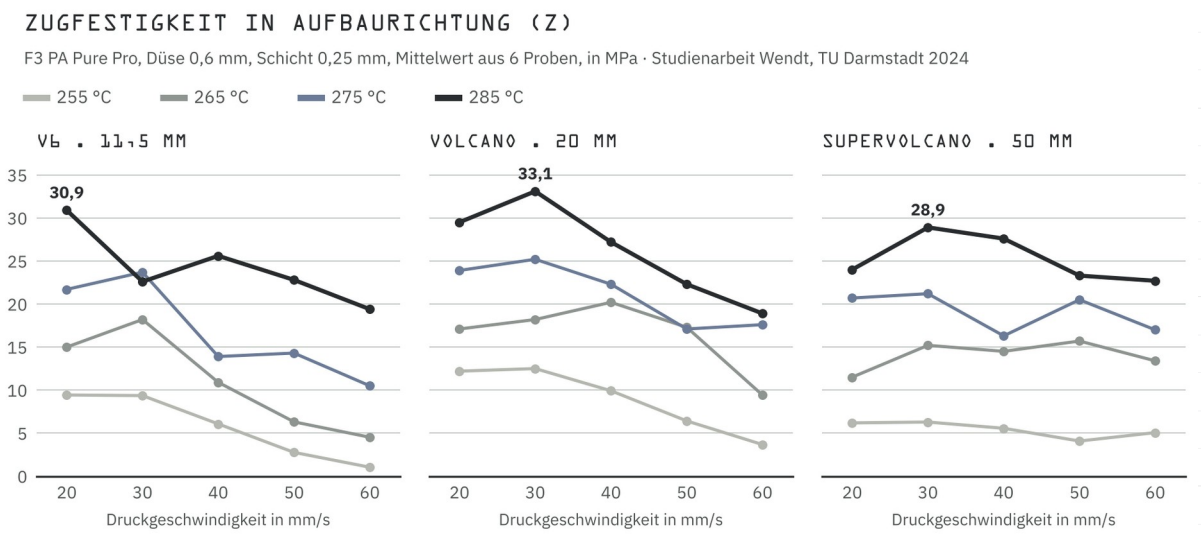


ABB. 2 Zugfestigkeit von F3 PA Pure Pro in z nach Druckgeschwindigkeit, Düsentemperatur und Hotend [1].

HOTEND . TEMPERATUR	20 MM/S	30 MM/S	40 MM/S	50 MM/S	60 MM/S
V6 · 255 °C	9,4	9,4	6,1	2,8	1,0
V6 · 265 °C	15,0	18,2	10,9	6,3	4,5
V6 · 275 °C	21,7	23,7	13,9	14,3	10,5
V6 · 285 °C	30,9	22,6	25,6	22,8	19,4
Volcano · 255 °C	12,2	12,5	9,9	6,4	3,7
Volcano · 265 °C	17,1	18,2	20,2	17,3	9,4
Volcano · 275 °C	23,9	25,2	22,3	17,1	17,6
Volcano · 285 °C	29,5	33,1	27,2	22,3	18,9
SuperVolcano · 255 °C	6,2	6,3	5,6	4,1	5,1

HOTEND . TEMPERATUR	20 MM/S	30 MM/S	40 MM/S	50 MM/S	60 MM/S
SuperVolcano · 265 °C	11,5	15,2	14,5	15,7	13,4
SuperVolcano · 275 °C	20,7	21,2	16,3	20,5	17,0
SuperVolcano · 285 °C	24,0	28,9	27,6	23,3	22,7

TAB. 2 Zugfestigkeit in z in MPa, Mittelwert aus bis zu sechs Proben [1].

TEMPERATUR IST DER STÄRKSTE HEBEL

Über alle 60 Kombinationen erklärt die Düsentemperatur allein drei Viertel der Unterschiede in der Festigkeit. Ein Regressionsmodell mit allen drei Größen beschreibt die Messwerte zu 85 % [1]:

- **Düsentemperatur:** etwa 6 MPa mehr Festigkeit je 10 K, hoch signifikant.
- **Druckgeschwindigkeit:** etwa 1,8 MPa weniger je 10 mm/s schneller, hoch signifikant.
- **Heizblocklänge:** kein statistisch gesicherter Einfluss.

Bei niedriger Temperatur bricht die Festigkeit mit steigender Geschwindigkeit besonders stark ein. Beim V6 erreichten die bei 255 °C gedruckten Proben bei 20 mm/s noch ein Drittel der Festigkeit der bei 285 °C gedruckten, bei 60 mm/s nur ein Zwanzigstel. Neun Proben aus diesen Bereichen brachen schon beim Abnehmen vom Druckbett, bei der Lagerung oder bei der Vorbereitung zur Prüfung, sieben davon vom V6 und zwei vom Volcano.

DER HEIZBLOCK BESTIMMT DIE STABILITÄT, NICHT DAS MAXIMUM

Die Länge des Heizblocks hob die beste erreichbare Festigkeit nicht an. Das längste Hotend, das SuperVolcano, lag mit 28,9 MPa sogar unter dem Volcano mit 33,1 MPa. Bei 285 °C und 20 mm/s zeigte es mit 24,0 MPa möglicherweise schon erste Anzeichen thermischer Schädigung, weil das Material länger in der heißen Zone bleibt.

Deutlich wirkte die Länge dagegen auf die Gleichmäßigkeit: Je länger der Heizblock, desto weniger verlor die Festigkeit bei höherer Geschwindigkeit. Bei 275 °C fiel sie beim V6 von der langsamsten zur schnellsten Stufe um gut 51 %, beim Volcano um rund 26 %, beim SuperVolcano um 18 %.

EINORDNUNG

Das DLR hat für F3 PA Pure Pro liegend gedruckt 67,5 MPa in Bahnrichtung und 61,3 MPa quer dazu gemessen [17]. Die besten z-Werte dieser Versuchsreihe liegen bei rund der Hälfte davon. Der Vergleich ist nur ein Anhaltspunkt, weil Drucker, Prüfkörper und Labor verschieden waren. Er zeigt aber die Größenordnung, die bei gut eingestelltem Prozess in Aufbaurichtung erreichbar ist, und wie weit eine ungünstige Einstellung darunter liegen kann.

Hinzu kommt die Art der Probe. Bei senkrecht gedruckten Proben bilden die Übergänge zwischen den Lagen an der Oberfläche feine Kerben, an denen sich die Spannung konzentriert und der Bruch beginnt. Eine Zugprobe, die aus einer gedruckten Platte herausgefräst wird, hat diese Oberflächenkerben nicht und dürfte deshalb etwas höhere Werte erreichen. Die Werte dieser Versuchsreihe liegen damit eher auf der sicheren Seite; sie entsprechen aber dem, was ein gedrucktes Bauteil mit unbearbeiteter Oberfläche tatsächlich aushält.

07 EMPFEHLUNGEN FÜR DEN DRUCK

Für Bauteile, die in Aufbaurichtung belastet werden, leiten wir aus Versuchsreihe und Literatur folgende Regeln ab:

01 **Lage zuerst klären:** Zug über die Schichtgrenzen konstruktiv vermeiden und das Bauteil nach dem Lastpfad ausrichten (WP004). Prozessparameter verbessern die z-Festigkeit, ersetzen aber keine gute Ausrichtung.

02 **Temperatur oben im Fenster:** F3 PA Pure Pro mit 275 bis 285 °C drucken. Höhere Temperaturen nur mit Prüfung, weil die Festigkeit bei zu viel Wärme wieder sinken kann.

03 **Geschwindigkeit an die Temperatur koppeln:** Mit 0,6-mm-Düse und 0,25 mm Schicht lagen die besten Werte bei 20 bis 30 mm/s. Wer schneller druckt, muss mit deutlich geringerer z-Festigkeit rechnen, vor allem bei kurzem Heizblock.

04 **Langen Heizblock für gleichmäßige Qualität:** Ein Volcano oder längeres Hotend macht die Festigkeit unempfindlicher gegen Geschwindigkeitswechsel, etwa zwischen Außenwand und Füllung. Für die Spitzenfestigkeit ist er nicht nötig.

05 **Schichthöhe klein im Verhältnis zur Düse:** Eine flache Schicht auf einer breiten Bahn vergrößert die Kontaktfläche zwischen den Lagen [7, 10].

06 **Schicht darunter warm halten:** Bauteillüfter bei Polyamid aus oder minimal und die Zeit je Schicht nicht unnötig verlängern, damit die vorherige Schicht noch warm ist [9].

07 **Trocken drucken:** Feuchtes Polyamid schäumt und bildet Poren in der Schweißzone (WP002).

08 **Ergebnis prüfen:** Die Masse eines Bauteils mit dem Sollwert aus Volumen und Dichte vergleichen. Zu geringe Masse deutet auf Unterextrusion im Inneren hin, die von außen nicht zu sehen ist [14]. Bei kritischen Teilen eine Probe mit derselben Einstellung stehend drucken und ziehen.

Der aktuelle Trend zu immer schnelleren Druckern ist für technische Kunststoffe deshalb kritisch zu sehen. Gerade Polyamid braucht hohe Temperaturen und ausreichend Zeit, damit die Lagen verschweißen.

08 GRENZEN DER UNTERSUCHUNG

Die Ergebnisse gelten zunächst für einen Werkstoff, eine Düse von 0,6 mm, eine Schichthöhe von 0,25 mm und Drucker einer Bauart. Für Düsentemperatur und Geschwindigkeit wurden die eingestellten Sollwerte verwendet. Die tatsächliche Temperatur der Schmelze und die Leistungsaufnahme der Heizpatronen wurden nicht gemessen. Alle Proben wurden stehend gedruckt und mit unbearbeiteter Oberfläche geprüft; die Kerbwirkung der Lagen ist in den Werten also enthalten.

Das Regressionsmodell beschreibt die Messwerte gut, ist aber nicht ohne Weiteres auf andere Werkstoffe oder Drucker übertragbar. Für ein allgemeines Modell müssten weitere Werkstoffe mit ihren Kennwerten wie Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität und Schmelzenthalpie einbezogen werden, ebenso Filament mit 2,85 mm Durchmesser und Temperaturen über 285 °C.

Für die faserverstärkten Typen liegen DLR-Werte in z vor: F3 PA-CF Pro erreichte je nach Drucker 21 bis 29 MPa (WP004). Eine vergleichbare Parameterstudie steht für sie noch aus.

09 FAZIT

Die Festigkeit in Aufbaurichtung ist keine feste Werkstoffeigenschaft, sondern ein Ergebnis des Prozesses. Bei F3 PA Pure Pro lag sie je nach Einstellung zwischen 1 und 33 MPa. Entscheidend sind eine hohe Düsentemperatur und eine moderate Geschwindigkeit; ein langer Heizblock sorgt für gleichmäßige Qualität. Wer z-belastete Bauteile druckt, legt zuerst die Lage richtig fest und stellt dann den Prozess auf Verschweißung statt auf Tempo ein.

QUELLEN

[1] Wendt, F.: Empirisches Ermitteln eines thermodynamischen Modells für die Festigkeit eines FFF-Bauteils. Studienarbeit, Technische Universität Darmstadt, Institut für Druckmaschinen und Druckverfahren, 2024

[2] Hopmann, C.; Michaeli, W.: Einführung in die Kunststoffverarbeitung. 8. Auflage, Carl Hanser Verlag, München 2017

[3] Popescu, D.; Zapciu, A.; Amza, C.; Baciu, F.; Marinescu, R.: FDM process parameters influence over the mechanical properties of polymer specimens: A review. Polymer Testing 69 (2018), S. 157–166. https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.05.020

[4] Dey, A.; Yodo, N.: A Systematic Survey of FDM Process Parameter Optimization and Their Influence on Part Characteristics. Journal of Manufacturing and Materials Processing 3(3), 64, 2019. https://doi.org/10.3390/jmmp3030064

[5] Gao, G.; Xu, F.; Xu, J.; Tang, G.; Liu, Z.: A Survey of the Influence of Process Parameters on Mechanical Properties of Fused Deposition Modeling Parts. Micromachines 13(4), 553, 2022. https://doi.org/10.3390/mi13040553

[6] Chacón, J. M.; Caminero, M. A.; García-Plaza, E.; Núñez, P. J.: Additive manufacturing of PLA structures using fused deposition modelling: Effect of process parameters on mechanical properties and their optimal selection. Materials & Design 124 (2017), S. 143–157. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.03.065

[7] Aliheidari, N.; Christ, J.; Tripuraneni, R.; Nadimpalli, S.; Ameli, A.: Interlayer adhesion and fracture resistance of polymers printed through melt extrusion additive manufacturing process. Materials & Design 156 (2018), S. 351–361. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.07.001

[8] Davis, C. S.; Hillgartner, K. E.; Han, S. H.; Seppala, J. E.: Mechanical strength of welding zones produced by polymer extrusion additive manufacturing. Additive Manufacturing 16 (2017), S. 162–166

[9] Kuznetsov, V. E.; Solonin, A. N.; Tavitov, A. G.; Urzhumtsev, O. D.; Vakulik, A. H.: Increasing strength of FFF three-dimensional printed parts by influencing on temperature-related parameters of the process. Rapid Prototyping Journal 26(1), 2019. https://doi.org/10.1108/RPJ-01-2019-0017

[10] Kuznetsov, V. E.; Solonin, A. N.; Urzhumtsev, O. D.; Schilling, R.; Tavitov, A. G.: 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

[11] Phan, D. D.; Swain, Z. R.; Mackay, M. E.: Rheological and heat transfer effects in fused filament fabrication. Journal of Rheology 62 (2018), S. 1097–1107. https://doi.org/10.1122/1.5022982

[12] Go, J.; Hart, A. J.: Fast desktop-scale extrusion additive manufacturing. Additive Manufacturing 18 (2017), S. 276–284

[13] Braconnier, D. J.; Jensen, R. E.; Peterson, A. M.: Processing parameter correlations in material extrusion additive manufacturing. Additive Manufacturing 31 (2020), 100924

[14] Tanikella, N. G.; Wittbrodt, B.; Pearce, J. M.: Tensile strength of commercial polymer materials for fused filament fabrication 3D printing. Additive Manufacturing 15 (2017), S. 40–47. https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.03.005

[15] DIN EN ISO 527-2: Kunststoffe – Bestimmung der Zugeigenschaften – Teil 2: Prüfbedingungen für Form- und Extrusionsmassen

[16] DIN EN ISO 11357: Kunststoffe – Dynamische Differenz-Thermoanalyse (DSC)

[17] DLR Braunschweig, Projekt EmpowerAX: Material characterization Fiberthree polyamide filaments (2023)

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	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 (dieses Paper)**	**Festigkeit in z-Richtung**

TAB. 3 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