Der Volumenstrom als Leitgröße für Druckprofile im Schmelzschichtverfahren

Fachpapier 1 – Methode zur Profilbegrenzung und Geschwindigkeitsentscheidung

Schicht-Werk

Fassung 1, Stand 2026-10-06

Kurzfassung. Geschwindigkeitsangaben in mm/s sind für Druckprofile im Schmelzschichtverfahren (FDM/FFF) nur gemeinsam mit Linienbreite und Schichthöhe aussagekräftig. Das Papier stellt den Volumenstrom $Q = b \cdot h \cdot v$ als Leitgröße vor, zeigt, wie das maximale Schmelzvermögen einer Maschine für einen Werkstoff bestimmt und als Obergrenze in versionierten Profilen geführt wird, und beschreibt eine einfache, automatisch prüfbare Regel für die Profilfreigabe. Die genannten Zahlen sind Rechenbeispiele und Richtwerte, keine Messergebnisse.

Schlüsselwörter: Materialextrusion, FDM, FFF, Volumenstrom, Druckprofil, Prozessfähigkeit, Qualitätssicherung

Ausgangslage

In der Praxis werden Druckprofile häufig über die Vorschubgeschwindigkeit beschrieben („schnell“, „100 mm/s“). Diese Zahl besagt wenig: Dieselbe Geschwindigkeit führt bei 0,10 mm Schichthöhe zu einem Bruchteil der Materialmenge, die bei 0,30 mm gefördert werden muss. Wo das Hotend die geforderte Schmelzmenge nicht mehr liefert, entstehen Unterextrusion, schwache Schichthaftung und raue, löchrige Wände. Die Ursache liegt dann nicht in der Geschwindigkeit als solcher, sondern im überschrittenen Volumenstrom.

Definition und Berechnung

Der Volumenstrom ergibt sich aus Linienbreite b, Schichthöhe h und Vorschubgeschwindigkeit v:

$$Q = b \cdot h \cdot v$$

Die erforderliche Filamentgeschwindigkeit folgt aus dem Filamentquerschnitt (bei 1,75 mm Durchmesser etwa 2,41 mm²):

$$v_F = \frac{Q}{\pi d_F^2 / 4}$$

Beispiel. Bei $b = 0{,}45$ mm, $h = 0{,}20$ mm und $v = 120$ mm/s ist $Q = 10{,}8$ mm³/s und $v_F \approx 4{,}5$ mm/s. Wird bei gleicher Linienbreite und gleichem Volumenstrom die Schichthöhe auf 0,30 mm erhöht, so ergibt sich die zulässige Geschwindigkeit aus $v = Q/(b \cdot h)$; bei 12 mm³/s sind dies etwa 88,9 mm/s.

Ermittlung des Schmelzvermögens

Das **maximale Schmelzvermögen** hängt von Hotend, Düse, Werkstoff, Temperatur und Heizleistung ab und wird je Maschine und Werkstoff ermittelt. Praktikabel ist ein Stufentest: Ein Prüfkörper wird bei steigender Geschwindigkeit (und damit steigendem Volumenstrom) gedruckt, bis Unterextrusion sichtbar wird oder der Förderantrieb Schritte verliert. Der höchste fehlerfreie Wert, vermindert um eine Reserve,

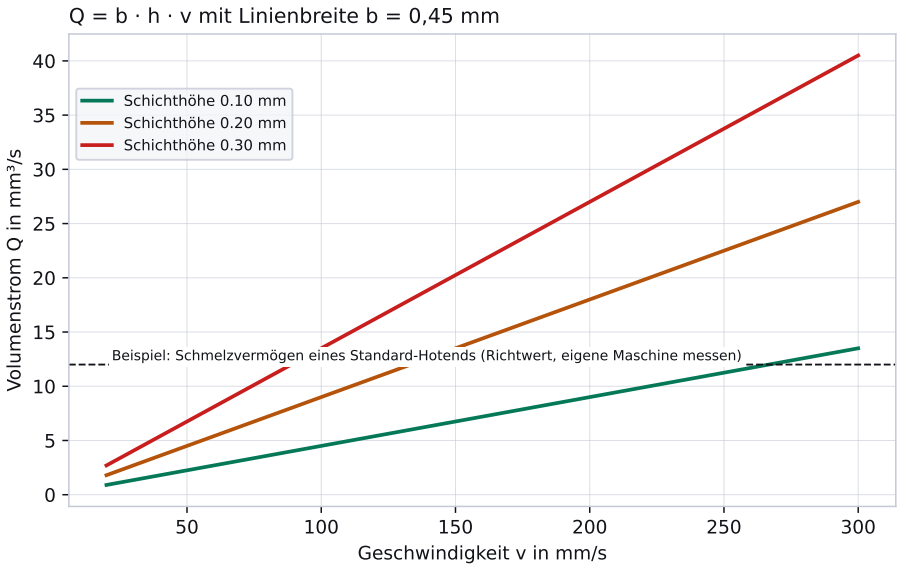


Abbildung 1: Volumenstrom in Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Schichthöhe

wird als Maximum eingetragen. Die Reserve ist betrieblich festzulegen; sie berücksichtigt Streuung der Filamentcharge, Alterung der Düse und Umgebungstemperatur.

Größenordnungen aus der Praxis (für PLA bei Standardhotends grob 10 bis 15 mm³/s, bei Hochdurchfluss-Hotends deutlich mehr) dienen nur der Orientierung; für den Betrieb zählt die gemessene Zahl.

Regel für die Profilfreigabe

Ein Profil darf nur freigegeben werden, wenn

1. der Volumenstrom des Profils unter dem Maximum der Maschine für den Werkstoff liegt,
2. ein Probedruck die Maß- und Sichtprüfung besteht und
3. die Version, das Datum und die freigebende Person dokumentiert sind.

Punkt 1 ist **automatisch prüfbar**, wenn Profil und Maschine als strukturierte Daten vorliegen (Feld `volumenstrom_mm3s` im Profil, `max_volumenstrom_mm3s` je Werkstoff in der Maschine). Das Betriebshandbuch dieses Pakets enthält dafür ein Prüfskript und neutrale Beispieldaten.

Folgerungen für die Praxis

- **Geschwindigkeit nicht isoliert vorgeben.** Profile nennen Q; die Geschwindigkeit ergibt sich daraus.
- **Schichthöhe und Geschwindigkeit gemeinsam optimieren.** Dickere Schichten verkürzen die Druckzeit nur, solange das Hotend nicht der Engpass ist.
- **Werkstoffwechsel heißt Wertewechsel.** Das Maximum gilt je Werkstoff und Düse.
- **Dokumentation.** Das ermittelte Maximum gehört ins Maschinenbuch, mit Datum und Bedingungen.

Grenzen

Der Volumenstrom ist eine notwendige, keine hinreichende Größe: Auch Kühlung, Beschleunigung, Fluss und Druckvorsteuerung bestimmen die Qualität. Die Methode ersetzt keine Messung am eigenen System; Zahlen aus diesem Papier sind Rechenbeispiele.

Offenlegung

Der Autor betreibt gewerblich additive Fertigung und bietet Schulungen, Beratung und digitale Werkzeuge an. Das Papier steht in diesem Zusammenhang. Keine Quellenrecherche in Datenbanken; die Literaturangaben sind vor einer Veröffentlichung zu verifizieren.

Literatur

- Gibson, I.; Rosen, D.; Stucker, B.; Khorasani, M.: *Additive Manufacturing Technologies*. 3. Aufl., Springer, 2021.
- Turner, B. N.; Strong, R.; Gold, S. A.: A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling. *Rapid Prototyping Journal* 20(3), 2014.
- Sun, Q.; Rizvi, G. M.; Bellehumeur, C. T.; Gu, P.: Effect of processing conditions on the bonding quality of FDM polymer filaments. *Rapid Prototyping Journal* 14(2), 2008.
- ISO/ASTM 52900: Additive Fertigung – Grundlagen – Terminologie.
- Schicht-Werk: *FDM – Schmelzschichtverfahren in der Praxis*, Ausgabe 1, Kap. 2, 4 und 8.