Anisotropie und konservative Auslegung gedruckter Bauteile

Fachpapier 3 – Ein Vorgehen für Konstruktion und Prüfung im Schmelzschichtverfahren

Schicht-Werk

Fassung 1, Stand 2026-10-06

Kurzfassung. Bauteile aus Materialextrusion sind Verbunde aus verschweißten Strängen und damit richtungsabhängig. Das Papier fasst den Stand der Fachliteratur zur Anisotropie qualitativ zusammen, leitet daraus Konstruktionsregeln ab und schlägt ein konservatives Auslegungsverfahren vor: Berechnung der Spannung im tragenden Querschnitt, Vergleich mit gemessenen Kennwerten in der ungünstigsten Richtung, Sicherheitsbeiwert, Prüfung am Muster. Zahlenwerte sind Rechenbeispiele.

Schlüsselwörter: Anisotropie, Schichthaftung, Auslegung, Sicherheitsbeiwert, Kriechen, Materialextrusion

Ausgangslage

Datenblattwerte stammen meist aus Spritzguss und gelten für ein homogenes Material. Ein gedrucktes Teil weist dagegen Nähte zwischen Strängen und Schichten auf. Die Fachliteratur zeigt für verbreitete Werkstoffe eine deutliche Richtungsabhängigkeit der Festigkeit und eine große Streuung in Abhängigkeit von Temperatur, Kühlung und Parametern (Ahn et al., 2002; Bellini und Güçeri, 2003). Die Schichtverbindung entsteht durch Polymerdiffusion über die Grenzfläche und braucht Temperatur und Zeit (Sun et al., 2008).

Drei Hauptrichtungen

Richtung	Tragender Anteil	Tendenz
In Strangrichtung (XY)	Strang selbst	höchste Zug- und Biegewerte
Quer zum Strang in der Ebene	Nähte benachbarter Stränge	etwas niedriger
Quer zu den Schichten (Z)	nur Schichtverbindungen	niedrigste Werte, große Streuung

Der Anteil der Z-Festigkeit an der Festigkeit in der Ebene lässt sich nicht pauschal angeben; er ist für das eigene System, den Werkstoff und das Profil zu messen.

Konstruktionsregeln

1. **Hauptlast in die Schichtebene legen.** Zug quer zu den Schichten vermeiden.
2. **Biegung so legen, dass die Zugseite in Strangrichtung liegt.**
3. **Wände vor Füllung.** Zusätzliche Außenwände erhöhen die Festigkeit in der Regel stärker als ein höherer Füllgrad.
4. **Kerben vermeiden.** Radien, Randabstand von Bohrungen, sanfte Übergänge.
5. **Kriechen beachten.** Unter Dauerlast und erhöhter Temperatur verformen sich Thermoplaste; Verschraubungen verlieren Vorspannung.

Auslegungsverfahren

1. Last und Lastfall (statisch, wechselnd, Stoß) bestimmen.

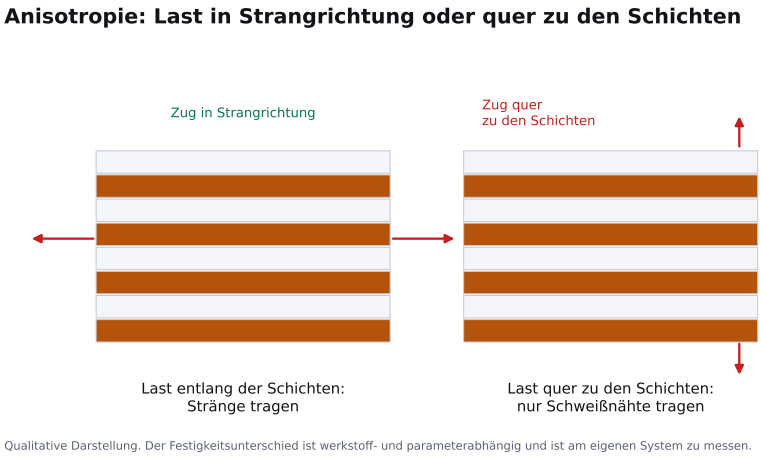


Abbildung 1: Anisotropie gedruckter Teile (qualitativ)

2. Spannung im tragenden Querschnitt berechnen, etwa $\sigma = F/A$ oder $\sigma = M/W$; die Füllung bleibt unberücksichtigt (konservativ).
3. Mit Kennwerten des gedruckten Teils in der **ungünstigsten Richtung** vergleichen, am eigenen System gemessen.
4. Sicherheitsbeiwert wählen, der Streuung, Kerben, Temperatur, Dauerlast und Alterung abdeckt.
5. Kritische Teile am Muster prüfen (Zugversuch, Dauerlast, Temperatur).

Rechenbeispiel. Ein Zugstab 10 mm × 4 mm (A = 40 mm²) wird mit 300 N belastet: $\sigma = 7{,}5$ MPa. Beträgt die am eigenen System gemessene Zugfestigkeit quer zu den Schichten 20 MPa und der Sicherheitsbeiwert 3, so liegt die zulässige Spannung bei 6,67 MPa. Der Querschnitt genügt nicht; nötig wären mindestens 45 mm², eine andere Orientierung oder ein anderer Werkstoff. Die Werte sind angenommen.

Prüfung

Für den Vergleich von Werkstoffen und Profilen sind genormte Prüfkörper zu verwenden (ISO 527 Zug, ISO 178 Biegung, ISO 179/180 Schlag, ISO 75 Wärmeformbeständigkeit); die **Druckorientierung** ist zu dokumentieren. Für den laufenden Betrieb genügt oft ein hausinterner, wiederholbarer Vergleichstest, der keine Normprüfung ersetzt.

Grenzen

Das Verfahren ist konservativ und für nicht sicherheitsrelevante Teile gedacht. Für sicherheitsrelevante Anwendungen sind eigene Nachweise, gegebenenfalls Normen und Prüfstellen heranzuziehen. Als Lohnfertiger trägt der Betrieb nicht die Produktverantwortung für die Eignung im Einsatz; sie liegt beim Auftraggeber.

Offenlegung

Der Autor betreibt gewerblich additive Fertigung und bietet Schulungen, Beratung und digitale Werkzeuge an. Keine Datenbankrecherche; Literaturangaben vor Veröffentlichung verifizieren.

Literatur

- Ahn, S.-H.; Montero, M.; Odell, D.; Roundy, S.; Wright, P. K.: Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS. *Rapid Prototyping Journal* 8(4), 2002.

- Bellini, A.; Güçeri, S.: Mechanical characterization of parts fabricated using fused deposition modeling. *Rapid Prototyping Journal* 9(4), 2003.
- 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.
- Gebhardt, A.; Kessler, J.; Schwarz, A.: *Produktgestaltung für die Additive Fertigung*. Hanser, 2019.
- ISO 527, ISO 178, ISO 179, ISO 180, ISO 75 (Prüfnormen, jeweils aktueller Stand).
- Schicht-Werk: *FDM – Schmelzschichtverfahren in der Praxis*, Ausgabe 1, Kap. 6 und 7.