3D-DRUCK WERKSTATT-REFERENZPOSTER

Filament-Parameter · Slicing-Formeln · Toleranzen · G-Code & Fehlerdiagnose (2026)

1. FILAMENT-THERMO- UND DRUCKBETT-MATRIX (8 HAUPTMATERIALIEN)

DÜSENDURCHMESSER: 0.4 MM STANDARD

Filament	Düse (°C)	Bett (°C)	Bett-Oberfläche & Haftung	Bauraum / Gehäuse	Kühlung	Druckgeschw.	Typische Schrumpfung	Kritische Werkstattnotiz
PLA / PLA+	195 – 215	50 – 60	PEI Glatt/Texturiert, Glas	Offen (Tür/Deckel auf)	100% (ab Schicht 2)	60 – 300 mm/s	0.2 – 0.3 % (Gering)	Wärmestau im Druckkopf vermeiden; nicht über 45°C Umgebung drucken.
PETG	230 – 250	70 – 85	Texturiertes PEI, Klebestift	Offen oder belüftet	30 – 50% (Teilkühlung)	50 – 180 mm/s	0.4 – 0.6 % (Mittel)	Niemals auf glattem PEI ohne Trennmittel drucken (Gefahr von Ausrissen).
ABS / ASA	245 – 265	100 – 110	Glattes PEI, Dimafix, ABS-Slurry	Geschlossener Bauraum (45-60°C)	0 – 15% (Min/Aus)	40 – 150 mm/s	1.4 – 2.0 % (Hoch)	ASA UV-stabil für Außenbereich. Zugluft vermeiden; VOC-Filter/Lüftung nötig.
TPU (95A)	215 – 235	30 – 50	Texturiertes PEI, Klebestift	Offen	50 – 80%	20 – 45 mm/s	0.5 – 1.0 % (Flexibel)	Direkt-Extruder erforderlich; Rückzug deaktivieren oder ≤ 1.5 mm wählen.
PA-CF (Nylon-CF)	270 – 300	80 – 100	Spezial-PA-Kleber, PEI	Geschlossen (50-70°C)	0 – 20%	40 – 120 mm/s	0.3 – 0.6 % (Stabil)	Gehärtete Stahldüse zwingend. Vor Druck 8-12 Std. bei 80°C aktiv trocknen.
PC (Polycarbonat)	270 – 310	110 – 125	Magigoo PC, Spezial-PEI	Aktiv beheizter Bauraum (65°C+)	0 – 20%	30 – 90 mm/s	1.0 – 1.5 % (Sehr hoch)	Höchste Schlagzähigkeit; extreme Warping-Neigung ohne geschlossenen Bauraum.
PVA (Stützmaterial)	190 – 210	45 – 60	PEI, Klebestift	Offen	50 – 100%	30 – 60 mm/s	0.2 – 0.4 %	Wasserlösliches Stützmaterial für PLA. Extrem hygroskopisch; trocken lagern.

2. DÜSEN- & KALIBRIERUNGSFORMELN

- **Schichthöhen-Regel:**
  `Min: 0.25 × D | Max: 0.75 × D (0.4mm → 0.10 - 0.30mm)`
- **Linienbreiten-Standard (Line Width):**
  `Empfohlen: 1.10 bis 1.25 × D (0.4mm Düse → 0.45 - 0.50mm)`
- **Maximaler Durchfluss (Volumetric Flow):**
  `Q (mm³/s) = Linienbreite × Schichthöhe × Geschw.`
  V6/Bambu Standard: ~15-20 mm^3/s | CHT/Volcano: 30-45 mm^3/s.
- **E-Steps Extruder-Kalibrierung:**
  `Neue Steps = (Alte Steps × 100) / Gemessene Länge (mm)`
- **Düsen-Materialauswahl:**
  - **Messing** : Beste Wärmeleitung, nutzt mit CF ab.
  - **Gehärteter Stahl** : Für CF/GF/Glow, Düsentemp +5-10°C.

3. SLICING & STRUKTURFESTIGKEIT

- **Wandstärken-Hierarchie (Perimeter > Infill):**
  4 Wände (Perimeter) bringen deutlich mehr Biege- und Bruchfestigkeit als 60% Infill.
  `Funktionsteil: 4-5 Wände + 25-35% Infill`
- **Optimales Infill-Muster:**
  - **Gyroid** : Isotrop, gleiche Festigkeit in X/Y/Z.
  - **Grid / Triangles** : Schnell, aber Düsenkollision möglich.
- **Nahtplatzierung (Z-Seam Alignment):**
  Auf *Scharfe Kante* stellen. Scarf Joint Seam aktiviert nahtlosen Übergang.
- **Pressure Advance / Linear Advance:**
  Verhindert Eckwulste und Unterextrusion beim Beschleunigen.

4. G-CODE & KLIPPER-BEFEHLE

- `G28`: Alle Achsen referenzieren (Auto Home).
- `G29`: Bett-Nivellierung (Bed Mesh Leveling).
- `M104 S[T]`: Düse heizen (kein Warten).
- `M109 S[T]`: Düse heizen und auf Zieltemp warten.
- `M140` / `M190`: Druckbett heizen / warten.
- `M106 S255`: Bauteillüfter 100% / `M107`: Lüfter aus.
- `G92 E0`: Extruder-Strecke auf Null zurücksetzen.
- `M83`: Relativer Extrudermodus (Standard Bambu/Prusa).
- `M500`: Parameter in EEPROM sichern.
- **Klipper Makros:** `BED_MESH_CALIBRATE`, `PID_CALIBRATE HEATER=extruder TARGET=220`

5. KRITISCHE 3D-DRUCK-FEHLERDIAGNOSE & WERKSTATTLÖSUNGEN (8 PROBLEM-MATRIZEN)

Symptom & Fehlerbild	Primäre Ursache	Werkstattlösung & Korrekturmaßnahme	Schlüsselparameter
1. Erste Schicht haftet nicht	Düse zu hoch über dem Bett (Z-Offset) oder Fettfilm auf der Druckplatte.	Bett gründlich mit heißem Wasser & Spülmittel reinigen; Z-Offset um 0.05 mm senken (First Layer Squish).	**Z-Offset** / Entfetten
2. Warping & Ecken heben ab	Thermischer Schrumpfungsstress kühlt ungleichmäßig ab; kalte Zugluft.	Bett-Temp um +5-10°C erhöhen; Rand (Brim) mit 5-8 mm drucken; Gehäuse schließen, Lüfter aus.	**Brim** / Lüfter 0%
3. Fädenziehen (Stringing)	Rückzug (Retraction) zu gering oder Filament feucht; Drucktemperatur zu hoch.	Drucktemp in 5°C-Schritten senken; Rückzug testen; Filament 6 Std. im Trockner entfeuchten.	**Retract** : 0.8-2mm
4. Schichtversatz (Layer Shift)	Riemenspannung zu locker/fest; Düsenkollision bei Grid-Infill; Schrittverlust.	Riemenspannung auf 110-150 Hz einstellen; Infill auf Gyroid wechseln; Motortreiber-Strom prüfen.	**Riemen** / Gyroid
5. Überextrusion / Rillen	Flussrate (Flow) zu hoch; Filamentdurchmesser weicht von 1.75 mm ab.	Einzelwand-Hohlwürfel drucken; Wandstärke mit Messschieber messen; Flussrate auf 93-96% anpassen.	**Flussrate** : 0.95
6. Schichttrennung (Delamination)	Zu geringe Schichthaftung; Bauteillüfter bläst zu stark; Düse zu kalt.	Düsentemperatur um +10°C anheben; Bauteillüfter auf 20-30% drosseln; Zugluft isolieren.	**Temp +10°C**
7. Verstopfung (Heat Creep)	Wärme steigt vom Hotend in den Coldend-Kühlkörper; Lüfter defekt/zu schwach.	Hotend-Lüfter auf Funktion prüfen; Rückzug ≤ 2 mm bei All-Metal halten; Wärmeleitpaste am Heatbreak erneuern.	**Coldend-Lüfter**
8. Knistern & raue Oberfläche	Filament hat Feuchtigkeit aus der Umgebungsluft aufgenommen (hygroskopisch).	Feuchtes Filament versprödet und verliert 50% Festigkeit. 6-8 Stunden bei empfohlener Temperatur im Ofen/Trockner trocknen.	**Filamenttrockner**

6. MECHANISCHE PASSUNGSTOLERANZEN

- **Presspassung (Press Fit):**
  - Spaltmaß: **0.10 – 0.15 mm**
  Kugellagersitze, feste Rastnasen.
- **Gleit- / Drehgelenk (Sliding Joint):**
  - Spaltmaß: **0.25 – 0.35 mm**
  Wellen, Scharniere und Gelenke.
- **Print-in-Place (In-One-Piece):**
  - Spaltmaß: **0.30 – 0.40 mm**
  Gekoppelte Kettenglieder ohne Montage.
- **Freies Durchgangsloch:**
  - Spaltmaß: **0.40 – 0.50 mm** (Schraubendurchgang).

7. GEWINDEEINSATZ-BOHRUNGSMASSE

Gewinde	Bohrung Ø	Bohrtiefe	Ansenkung
M2 Einsatz	3.2 – 3.3 mm	4.5 mm	+0.2 mm
M3 Einsatz (Std)	4.0 – 4.2 mm	5.5 mm	+0.3 mm
M4 Einsatz	5.6 – 5.8 mm	7.5 mm	+0.4 mm
M5 Einsatz	6.8 – 7.0 mm	9.0 mm	+0.5 mm

**Lötkolben auf 220°C stellen und senkrecht einpressen.*

8. ATOMIC COLD PULL & ERTRAG

- **Schritt-für-Schritt Cold Pull:**
  1. Düse auf 230°C heizen, Nylon/PLA fest einführen.
  2. Heizung ausschalten, Düse auf 90°C abkühlen lassen (PETG: 110°C, Nylon: 130°C).
  3. Hebel drücken, Filament ruckartig nach oben ziehen. Spitze auf Partikel prüfen.
- **Lauflänge pro 1 kg Spule (1.75 mm):**
  - **PLA** : ~335 m | • **PETG** : ~325 m
  - **ABS** : ~400 m | • **TPU** : ~340 m