

3D-Druck verstehen

3D-Druck verständlich erklärt: Prinzip der additiven Fertigung, Verfahren, vom CAD-Modell über den Slicer zum Druck, Werkstoffe, druckgerechtes Konstruieren sowie typische Fehler und Sicherheit.

Das kannst du danach

- Du ordnest Verfahren der additiven Fertigung ein und kennst ihre Grenzen.
- Du stellst den Weg vom CAD-Modell bis zum G-Code dar und wählst Werkstoffe passend.
- Du konstruierst druckgerecht und behebst typische Druckfehler gezielt.

Dein Weg durch das Heft

01 Additive Fertigung - das Prinzip · S. 2

02 Verfahren im Überblick · S. 4

03 Vom Modell zum Druck · S. 5

04 Werkstoffe für FFF · S. 7

05 Druckgerecht konstruieren · S. 8

06 Druckfehler & Sicherheit · S. 10

SO LERNST DU DAMIT

Lies ein Kapitel und rechne das Beispiel nach. Löse danach die Aufgaben zuerst selbst. Auf den Hilfeseiten findest du Denkanstöße; die Lösungen erklären den Weg und typische Stolperstellen.

Die Beispiele dienen dem Lernen. Konkrete Arbeit, Prüfung und Freigabe richten sich nach Aufgabe, Zeichnung, Herstellerangaben und betrieblichen Vorgaben. Dieses Heft ersetzt keine Unterweisung.

KAPITEL 01 | VERSTEHEN

Additive Fertigung - das Prinzip

Beim 3D-Druck entsteht ein Bauteil, indem Material Schicht für Schicht aufgebaut wird. Man spricht von additiver Fertigung - im Gegensatz zum Drehen oder Fräsen, bei denen Material abgetragen wird.

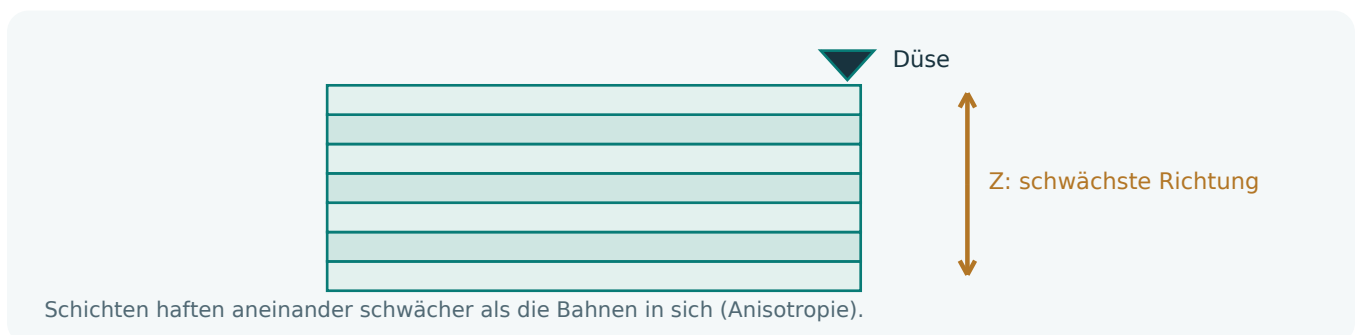
Grundlage ist immer ein digitales 3D-Modell. Es wird in dünne Schichten zerlegt; der Drucker baut eine Schicht nach der anderen auf und verbindet sie miteinander. So entstehen auch innere Hohlräume, Gitterstrukturen oder Teile, die mit Werkzeugen nicht herstellbar wären.

Die Norm ISO/ASTM 52900 ordnet die Verfahren in sieben Gruppen, unter anderem Materialextrusion, badbasierte Photopolymerisation, pulverbettbasiertes Schmelzen, Freistrah-Bindemittelauftrag und Materialauftrag mit gerichteter Energieeinbringung.

- Vorteile: Formfreiheit, keine Werkzeuge, schnell vom Modell zum Teil.
- Grenzen: Bauzeit pro Teil, Oberflächengüte, Maßhaltigkeit, richtungsabhängige Festigkeit.
- Typische Anwendungen: Prototypen, Vorrichtungen, Lehren, Ersatzteile, Kleinserien.

Additiv gefertigte Teile werden oft nachbearbeitet: Stützen entfernen, schleifen, Gewinde einsetzen, Passflächen nachbohren oder bei Metallteilen fräsen und wärmebehandeln.

Weil keine Werkzeugkosten anfallen, kostet die erste Kopie fast so viel wie die hundertste. Bei Serien kehrt sich das um: Dann sind Verfahren mit Werkzeugen günstiger pro Stück.



BEISPIEL / LERNZIEL

Eine Bohrlehre wird gedruckt, damit ein Werker sechs Bohrungen ohne Anreißen immer gleich setzen kann.

WEITERLESEN

Additive Fertigung - das Prinzip (Fortsetzung)

Praxistipp

Für eine neue Montagestation werden Teilehalter gedruckt. Nach zwei Testdurchläufen wird die Kontur angepasst und am nächsten Tag neu gedruckt - ohne Fräsprogramm.

Typischer Fehler

Den 3D-Druck für jedes Teil einsetzen. Bei großen Stückzahlen, hohen Kräften oder engen Toleranzen sind Spritzgießen, Fräsen oder Drehen oft schneller, genauer und günstiger.

Meine Notizen

KAPITEL 02 | VERSTEHEN

Verfahren im Überblick

Am weitesten verbreitet ist die Materialextrusion: Ein Kunststofffaden (Filament) wird in einer beheizten Düse geschmolzen und Bahn für Bahn abgelegt. Das Verfahren heißt Fused Filament Fabrication (FFF) und wird oft auch FDM genannt.

Bei der Stereolithografie (SLA) und verwandten Verfahren härtet UV-Licht flüssiges Harz Schicht für Schicht aus - sehr feine Details, glatte Oberflächen. Beim selektiven Lasersintern (SLS) verschmilzt ein Laser Kunststoffpulver; das umgebende Pulver stützt das Teil. Metallteile entstehen zum Beispiel im Laserstrahlschmelzen im Pulverbett.

Metall im Pulverbett (häufig LPBF oder SLM genannt) wird unter Schutzgas aufgeschmolzen. Die Teile brauchen Stützen zur Wärmeableitung, werden oft wärmebehandelt und an Funktionsflächen nachbearbeitet. Das ist Industrietechnik mit besonderen Schutzmaßnahmen.

- FFF: günstig, viele Werkstoffe, sichtbare Schichten, Stützen bei Überhängen.
- SLA: hohe Detailgenauigkeit, Harz muss gewaschen und nachgehärtet werden.
- SLS: keine Stützen nötig, robuste Teile, Pulverhandhabung aufwendiger.

Die Bezeichnung „FDM“ ist ein geschützter Markenname eines Herstellers. Der allgemeine Begriff für das Verfahren lautet Fused Filament Fabrication (FFF), auf Deutsch auch Schmelzschichtung.

Bei Pulververfahren werden Teile aus dem Pulverkuchen ausgepackt und gestrahlt. Ungesintertes Pulver lässt sich teilweise wiederverwenden.

BEISPIEL / LERNZIEL

Ein Zahnrad-Prototyp aus FFF zeigt, ob Abstände und Zähnezahl passen. Für den Dauereinsatz wird später ein gefrästes oder gesintertes Teil verwendet.

Praxistipp

Eine Halterung für den Werkstattalltag wird mit FFF aus PETG gedruckt; ein feines Gehäuse-Muster mit Schnappverbindungen entsteht per SLA.

Typischer Fehler

Ein gedrucktes Kunststoffteil wie ein gefrästes Metallteil belasten. Werkstoff, Verfahren und Druckrichtung bestimmen die Festigkeit.

KAPITEL 03 | VERSTEHEN

Vom Modell zum Druck

Aus dem CAD-Modell wird eine Netzdatei exportiert, meist STL oder 3MF. Ein Slicer zerlegt das Modell in Schichten und erzeugt daraus G-Code mit allen Bewegungen, Temperaturen und Lüftereinstellungen.

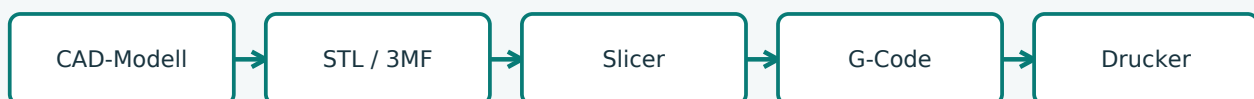
Im Slicer legst du Schichthöhe, Anzahl der Wände, Füllgrad (Infill), Stützstrukturen und Haftung am Druckbett fest. Die Lage des Teils auf dem Druckbett entscheidet über Stützen, Oberfläche und Festigkeit. Der fertige G-Code wird per Speicherkarte oder Netzwerk an den Drucker übertragen.

Der G-Code ist derselbe Grundgedanke wie bei CNC-Maschinen: G0/G1 für Bewegungen, dazu Befehle für Extruder, Temperaturen und Lüfter. Die Schichthöhe liegt bei einer 0,4-mm-Düse häufig um 0,2 mm; sie sollte deutlich kleiner als der Düsendurchmesser sein.

- Wände (Perimeter) bestimmen die Festigkeit oft stärker als der Füllgrad.
- Stützstrukturen tragen Überhänge und werden nach dem Druck entfernt.
- Brim oder Raft vergrößern die Auflage und verringern Ablösen.

Das Format 3MF speichert neben der Geometrie auch Einheiten, Farben und Druckeinstellungen. Es vermeidet deshalb einige typische STL-Fehler.

Viele Slicer zeigen eine Vorschau Schicht für Schicht. Hier sieht man vor dem Druck, ob Stützen sinnvoll liegen und ob dünne Wände überhaupt gedruckt werden.



STL hat keine Einheiten - Maße im Slicer prüfen.

BEISPIEL / LERNZIEL

Statt 100 % Füllung für eine stabile Halterung: drei bis vier Wände und 25 % Infill sparen Zeit und Material und sind oft fast so fest.

WEITERLESEN

Vom Modell zum Druck (Fortsetzung)

Praxistipp

Ein Winkel wird liegend statt stehend gedruckt: Die Schichten verlaufen dann entlang der Belastung, und es werden kaum Stützen gebraucht.

Typischer Fehler

Eine STL-Datei ohne Maßkontrolle drucken. STL enthält keine Einheiten - ein in Zoll gespeichertes Modell erscheint plötzlich 25,4-mal zu groß oder zu klein.

Meine Notizen

KAPITEL 04 | VERSTEHEN

Werkstoffe für FFF

Für FFF gibt es viele thermoplastische Filamente. Sie unterscheiden sich in Druckbarkeit, Festigkeit, Zähigkeit, Temperatur- und UV-Beständigkeit.

PLA ist leicht zu drucken, aber schon bei etwa 55 bis 60 °C weich - im Auto oder an warmen Maschinenteilen verformt es sich. PETG ist zäher und temperaturbeständiger. ABS und ASA halten mehr Wärme aus, neigen aber zum Verziehen und brauchen einen geschlossenen Bauraum; ASA ist zusätzlich UV-beständig. TPU ist gummielastisch, Polyamid (PA) sehr zäh, nimmt aber Feuchtigkeit auf.

Typische Düsentemperaturen sind für PLA etwa 190-220 °C, für PETG etwa 220-250 °C, für ABS und ASA etwa 230-260 °C - maßgeblich ist die Angabe des Filamentherstellers. Feuchtes Filament (besonders PA, PETG, TPU) knistert beim Drucken und gibt raue Oberflächen; es wird vor dem Druck getrocknet.

- PLA: einfach, steif, wenig Verzug - aber geringe Wärmebeständigkeit.
- PETG: zäh, chemisch recht beständig, gute Schichthaftung.
- ABS/ASA: wärmebeständiger, Verzug und Emissionen - geschlossener Bauraum und Absaugung.

Faserverstärkte Filamente (zum Beispiel mit Kohlenstoff- oder Glasfasern) sind steifer, wirken aber stark abrasiv. Messingdüsen verschleißern dabei schnell; gehärtete Düsen sind nötig.

Die Glasübergangstemperatur ist bei vielen Kunststoffen die Grenze, ab der sie weich werden. Für die Einsatztemperatur sollte ein deutlicher Abstand eingeplant werden.

BEISPIEL / LERNZIEL

Ein Halter soll im Sommer im Fahrzeug liegen. PLA scheidet aus, ASA ist wegen Wärme- und UV-Beständigkeit die bessere Wahl.

Praxistipp

Eine Kabelführung im Schaltschrank wird aus PETG gedruckt, ein Schutzpuffer für eine Vorrichtung aus TPU.

Typischer Fehler

Ein PLA-Teil in der Nähe eines warmen Motors einsetzen. Es verliert bei Wärme seine Form, obwohl es bei Raumtemperatur fest war.

KAPITEL 05 | VERSTEHEN

Druckgerecht konstruieren

Ein 3D-gedrucktes Teil ist nicht in alle Richtungen gleich fest: Zwischen den Schichten ist die Verbindung am schwächsten. Wer das beim Konstruieren und beim Ausrichten beachtet, bekommt deutlich haltbarere Teile.

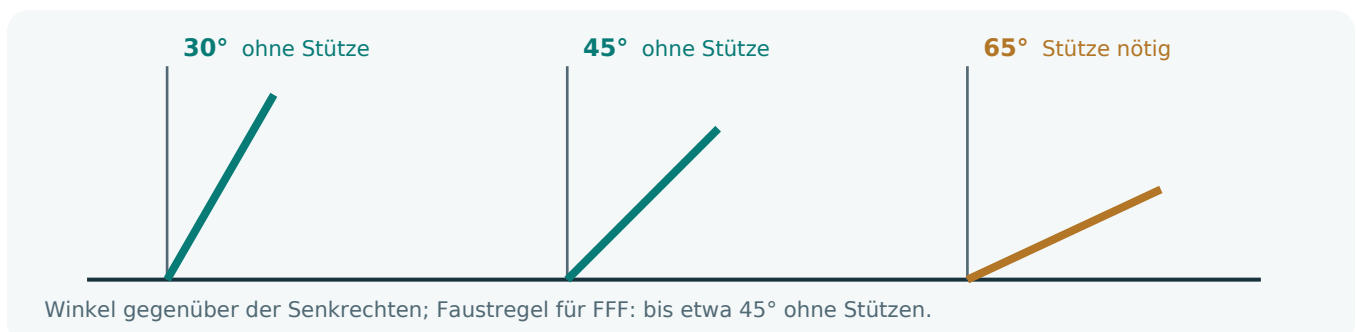
Überhänge bis etwa 45° gegenüber der Senkrechten lassen sich bei FFF meist ohne Stützen drucken; flachere Überhänge brauchen Stützen oder eine andere Lage. Kurze Brücken zwischen zwei Auflagen gelingen oft frei. Wände sollten ein ganzzahliges Vielfaches der Linienbreite dick sein (mindestens zwei Linienbreiten), damit der Slicer sie ohne Lücken füllt.

Für Passungen zwischen zwei gedruckten Teilen wird ein Spiel eingeplant, bei FFF oft einige Zehntelmillimeter. Der passende Wert hängt von Drucker, Werkstoff und Einstellungen ab und wird am besten mit einem Probedruck ermittelt. Präzise Bohrungen werden kleiner gedruckt und anschließend aufgebohrt oder gerieben.

- Anisotropie: Festigkeit in Aufbaurichtung (Z), also quer zu den Schichten, ist am geringsten.
- Überhänge über etwa 45° (gegenüber der Senkrechten) vermeiden oder abstützen; Fasen statt waagrechter Absätze.
- Gewinde: für häufiges Schrauben Gewindeeinsätze einschmelzen oder Muttern einlegen.

Scharfe Innenecken sind Kerbstellen und Startpunkte für Risse. Kleine Radien oder Fasen erhöhen die Haltbarkeit.

Große, flache Teile neigen zum Verziehen. Abgerundete Ecken, ein Brim und gleichmäßige Wandstärken helfen.



WEITERLESEN

Druckgerecht konstruieren (Fortsetzung)

BEISPIEL / LERNZIEL

Für eine M4-Schraube wird eine Bohrung für einen Gewindeeinsatz vorgesehen. Der Einsatz wird mit einem LötKolben warm eingedrückt und hält viel mehr Schraubvorgänge aus als ein gedrucktes Gewinde.

Praxistipp

Ein Haken bricht stehend gedruckt an der Schichtgrenze. Liegend gedruckt verlaufen die Schichten entlang des Hakens - er hält ein Vielfaches.

Typischer Fehler

Bohrungen und Passungen genau auf Nennmaß konstruieren. Gedruckte Bohrungen werden meist etwas kleiner; Stifte passen dann nicht.

Meine Notizen

KAPITEL 06 | VERSTEHEN

Druckfehler & Sicherheit

Die meisten Druckfehler entstehen in der ersten Schicht. Haftet sie nicht richtig, löst sich das Teil oder verzieht sich. Weitere typische Fehler sind Fäden (Stringing), Unterextrusion und Schichtversatz.

Für eine gute erste Schicht müssen Druckbett eben und sauber sein und der Düsenabstand stimmen. Verziehen (Warping) entsteht, wenn sich der Kunststoff beim Abkühlen zusammenzieht und die Ecken hochzieht. Fäden entstehen, wenn bei Leerfahrten Material aus der Düse nachläuft.

Unterextrusion zeigt sich als Lücken und dünne Wände; Ursachen sind etwa eine teilverstopfte Düse, feuchtes Filament oder zu hohe Geschwindigkeit. Schichtversatz entsteht oft durch lockere Riemen, Kollision der Düse mit hochgebogenem Material oder zu hohe Beschleunigung.

- Erste Schicht: Bett leveln, Düsenabstand einstellen, Fett und Staub entfernen.
- Stringing: Rückzug (Retraction) und Temperatur anpassen, Filament trocknen.
- Elefantenfuß: unterste Schichten breiter, weil die Düse zu nah ist oder das Bett zu heiß.

Ein kurzes Prüfmodell (zum Beispiel ein Würfel mit Maßen) zeigt Maßabweichungen, Ecken und Oberflächen. So lassen sich Änderungen vergleichbar beurteilen.

Ein Druckprotokoll mit Werkstoff, Temperaturen, Schichthöhe und Ergebnis hilft, gute Einstellungen später wieder zu finden - genau wie bei Schnittwerten an der Werkzeugmaschine.

Warping

Ecken heben sich

Stringing

feine Fäden

Unterextrusion

Lücken, dünne Wände

Zuerst erste Schicht und Mechanik prüfen, dann eine Einstellung nach der anderen.

BEISPIEL / LERNZIEL

Ein Teil hat eine 2 mm breite Lücke auf halber Höhe. Die Ursache war eine verhedderte Filamentspule - die Zufuhr stockte kurz.

WEITERLESEN

Druckfehler & Sicherheit (Fortsetzung)

Praxistipp

Die Ecken eines ABS-Teils heben sich. Abhilfe: geschlossener Bauraum, höhere Betttemperatur nach Herstellerangabe, Brim und keine Zugluft.

Typischer Fehler

Bei jedem Fehler sofort Temperaturen und Geschwindigkeiten verstellen. Erst die erste Schicht und die Mechanik prüfen, dann eine Einstellung nach der anderen ändern.

Meine Notizen

AUFGABEN 1-4

Jetzt selbst anwenden

Notiere deinen Rechenweg oder begründe deine Entscheidung. Die Kapitelangabe hilft beim gezielten Nachlesen.

Aufgabe 1 | Kapitel 1

Warum ist 3D-Druck für Prototypen besonders geeignet?

Meine Notizen

Aufgabe 2 | Kapitel 2

Warum braucht ein Teil im SLS-Verfahren meist keine Stützstrukturen?

Meine Notizen

Aufgabe 3 | Kapitel 3

Ein gedrucktes Teil ist genau 25,4-mal zu klein. Was ist wahrscheinlich passiert?

Meine Notizen

Aufgabe 4 | Kapitel 4

Warum verformt sich ein PLA-Teil im heißen Auto, obwohl es in der Werkstatt stabil war?

Meine Notizen

AUFGABEN 5-6

Jetzt selbst anwenden

Notiere deinen Rechenweg oder begründe deine Entscheidung. Die Kapitelangabe hilft beim gezielten Nachlesen.

Aufgabe 5 | Kapitel 5

Warum ist ein stehend gedruckter Haken bruchgefährdeter als ein liegend gedruckter?

Meine Notizen

Aufgabe 6 | Kapitel 6

Warum sollte man bei der Fehlersuche immer nur eine Einstellung auf einmal ändern?

Meine Notizen

DENKANSTÖSSE 1-6

Hilfen, bevor du nachsiehst

Zu Aufgabe 1

Was kostet bei Spritzguss oder Fräsen am meisten, bevor das erste Teil entsteht?

Zu Aufgabe 2

Was liegt beim SLS rund um das entstehende Teil im Bauraum?

Zu Aufgabe 3

1 Zoll = 25,4 mm. Welche Information fehlt in einer STL-Datei?

Zu Aufgabe 4

Vergleiche die Temperatur im Auto im Sommer mit der Glasübergangstemperatur von PLA.

Zu Aufgabe 5

An welcher Stelle hält ein 3D-gedrucktes Teil am wenigsten?

Zu Aufgabe 6

Wie erkennst du, welche von zwei gleichzeitig geänderten Einstellungen geholfen hat?

LERNTRICK

Nach einem Hinweis schließt du das Heft kurz. Erkläre dir den Ansatz in eigenen Worten und versuche die Aufgabe erneut. Erst dann mit der Lösung vergleichen.

SELBSTKONTROLLE 1-3

Lösungen mit Begründung

Aufgabe 1

Es braucht keine Werkzeuge oder Formen. Änderungen am Modell lassen sich sofort neu drucken, sodass mehrere Varianten schnell und günstig getestet werden können.

Aufgabe 2

Das Teil liegt während des Drucks im ungesinterten Pulver. Dieses Pulver trägt Überhänge, sodass keine zusätzlichen Stützen gedruckt werden müssen.

Aufgabe 3

Das Modell wurde in Zoll exportiert, aber als Millimeter interpretiert. STL-Dateien enthalten keine Einheiten - die Maße müssen im Slicer kontrolliert werden.

MEINE WIEDERHOLUNG

Welche Aufgabe war noch unsicher? Notiere den zugehörigen Begriff oder Rechenschritt. Wiederhole genau diesen Teil im Kapitel und löse die Aufgabe morgen ohne Vorlage erneut.

SELBSTKONTROLLE 4-6

Lösungen mit Begründung

Aufgabe 4

PLA hat eine niedrige Glasübergangstemperatur um 60 °C. Im Sommer wird es im Auto heißer; das Teil wird weich und verformt sich unter seinem eigenen Gewicht oder einer Last.

Aufgabe 5

Stehend gedruckt wirkt die Last quer zu den Schichtgrenzen, an denen die Verbindung am schwächsten ist. Liegend verlaufen die Bahnen entlang des Hakens und tragen die Last.

Aufgabe 6

Sonst weiß man nicht, welche Änderung gewirkt hat. Mit einer Änderung pro Testdruck lässt sich die Ursache eindeutig zuordnen und die gute Einstellung dokumentieren.

MEINE WIEDERHOLUNG

Welche Aufgabe war noch unsicher? Notiere den zugehörigen Begriff oder Rechenschritt. Wiederhole genau diesen Teil im Kapitel und löse die Aufgabe morgen ohne Vorlage erneut.

Begriffe & Weiterlernen

Additive Fertigung

Fertigungsverfahren, bei dem ein Bauteil Schicht für Schicht aus Material aufgebaut wird; umgangssprachlich 3D-Druck.

Schichthöhe

Dicke einer einzelnen gedruckten Schicht; bestimmt Oberfläche und Druckzeit.

Prototyp

Erstes Muster eines Bauteils oder Produkts, mit dem Form, Funktion oder Montage geprüft werden.

Schmelzschichtung (FFF)

3D-Druckverfahren, bei dem ein thermoplastischer Faden in einer beheizten Düse geschmolzen und bahnweise abgelegt wird; oft auch FDM genannt.

Filament

Kunststofffaden auf einer Spule, meist 1,75 mm dick, der beim FFF-Druck geschmolzen wird.

Stereolithografie (SLA)

3D-Druckverfahren, bei dem flüssiges Harz durch UV-Licht schichtweise ausgehärtet wird.

Selektives Lasersintern (SLS)

3D-Druckverfahren, bei dem ein Laser Kunststoffpulver schichtweise verschmilzt; das Pulver stützt das Teil.

STL-Datei

Dateiformat, das die Oberfläche eines 3D-Modells als Dreiecksnetz ohne Einheiten beschreibt.

Slicer

Programm, das ein 3D-Modell in Schichten zerlegt und den G-Code für den Drucker erzeugt.

Infill

Innere Füllstruktur eines gedruckten Teils, angegeben als Füllgrad in Prozent.

Stützstruktur

Gedruckte Hilfsstruktur, die Überhänge während des Drucks trägt und danach entfernt wird.

WEITERLESEN

Begriffe & Weiterlernen (Fortsetzung)

Glasübergangstemperatur

Temperaturbereich, in dem ein amorpher Kunststoff (oder der amorphe Anteil eines teilkristallinen Kunststoffs) vom harten in einen weichen, gummiartigen Zustand übergeht.

Warping

Verziehen eines gedruckten Teils durch Schrumpfung beim Abkühlen; meist heben sich die Ecken vom Druckbett.

Anisotropie

Richtungsabhängigkeit von Eigenschaften; gedruckte Teile sind zwischen den Schichten am wenigsten fest.

Überhang

Teil der Geometrie, der ohne darunterliegende Schicht seitlich hinausragt.

Gewindeeinsatz

Metallhülse mit Innengewinde, die warm in ein Kunststoffteil eingeschmolzen oder eingepresst wird.

Druckbett

Fläche, auf der ein 3D-gedrucktes Teil aufgebaut wird; oft beheizt und beschichtet.

Stringing

Druckfehler mit feinen Kunststofffäden zwischen getrennten Bereichen eines Teils.

Unterextrusion

Druckfehler, bei dem zu wenig Material gefördert wird; es entstehen Lücken und dünne Wände.

Auf LehrLynx weiterüben

- 3D-Druck online lernen
- 3D-Druck · Wissenscheck
- Arbeitsblatt erstellen
- Fachenglisch üben

Die zugehörigen Online-Seiten findest du über den Downloadbereich oder die Website-Suche. Dort lassen sich Fachbegriffe anklicken und Modelle selbst verändern.

WEITERLESEN

Begriffe & Weiterlernen (Fortsetzung) (Fortsetzung)

KURZ ERKLÄREN STATT NUR WIEDERERKENNEN

Erkläre einen Begriff mit eigenem Beispiel. Sage anschließend, wo das Beispiel nicht mehr ausreicht. So prüfst du, ob du den Zusammenhang verstanden hast.

Meine Notizen
