



DESIGN-LEITFADEN

SLS-Design-Leitfaden für die Fuse-Serie

Erfolg beim selektiven Lasersintern (SLS) beginnt mit Teilen, die für das SLS-3D-Druckverfahren optimiert sind. Dieser Leitfaden behandelt kritische Abmessungen und Designüberlegungen, die bei der Konstruktion von Teilen für die Drucker der Fuse-Serie zu beachten sind.

Anmerkung: Die folgenden Richtlinien sind als allgemeines Referenzmaterial für den Druck auf Druckern der Fuse-Serie mit Formlabs-Materialien bestimmt. Die Empfehlungen sind für die meisten Situationen gültig, treffen aber womöglich nicht für alle Bedingungen und Materialien zu. Daher sollten für zusätzliche Informationen und Hinweise die materialspezifischen Richtlinien beachtet werden.

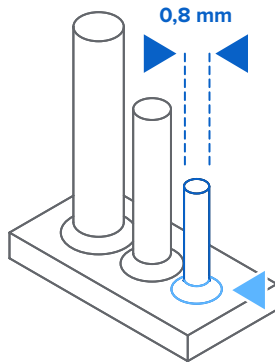
Referenzabmessungen

Die folgenden Referenzabmessungen wurden für Nylon 12 Powder entwickelt und dienen als grundlegende Richtlinien für den Druck mit Druckern der Fuse-Serie. Bitte beachten Sie die untenstehenden materialspezifischen Eigenschaften für materialspezifische Designempfehlungen und Informationen darüber, wie die Materialien von den typischerweise für Nylon 12 Powder zu erwartenden Ergebnissen abweichen.

MINIMALER STIFTDURCHMESSER

0,8 mm

Der minimale Stiftdurchmesser ist der kleinste Durchmesser, der erfolgreich gedruckt werden kann.

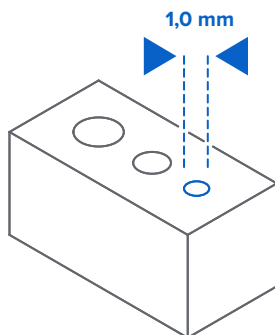


Anmerkung: Seien Sie besonders vorsichtig, wenn Sie dünne Stifte in der Pulverrückgewinnungsstation Fuse Sift reinigen, um zu vermeiden, dass sie abbrechen. Das Abrunden der Kanten an den Stellen, an denen die Stifte auf den Druckteilkörper treffen, verringert dieses Risiko.

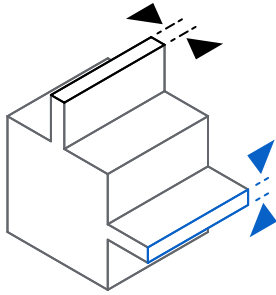
MINDESTLOCHDURCHMESSER

1,0 mm

Löcher mit einem Durchmesser von weniger als 1,0 mm können sich beim Drucken verschließen.



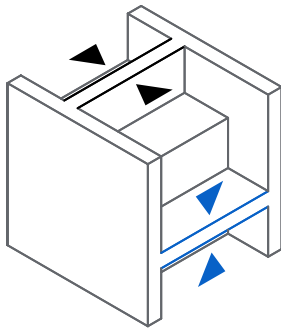
Anmerkung: Um exakt konzentrische Löcher zu erhalten, entwerfen Sie ein unterdimensioniertes Loch als Pilotmerkmal und erweitern dieses mithilfe einer Reibahle auf den vorgesehenen Durchmesser.



MINDESTSTÄRKE UNGESTÜTZTER WÄNDE

- Vertikale Wände: **0,6 mm**
- Horizontale Wände: **0,3 mm**

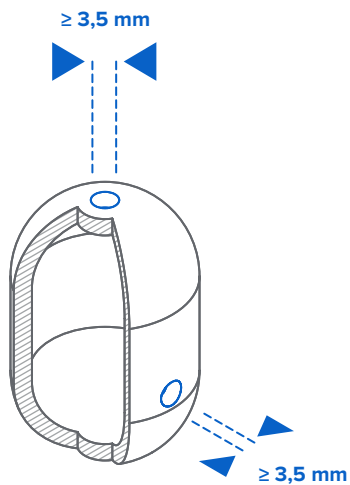
Die Mindestwandstärke ungestützter Wände ist die Mindeststärke, die für eine auf weniger als zwei Seiten gestützte Wand erforderlich ist. Zu dünne Wände können sich verziehen oder vom Modell ablösen.



MINDESTSTÄRKE GESTÜTZTER WÄNDE

- Vertikale Wände: **0,6 mm**
- Horizontale Wände: **0,3 mm**

Die Mindestwandstärke gestützter Wände ist die Mindeststärke, die für eine an zwei oder mehr Seiten gestützte Wand erforderlich ist. Zu dünne Wände können sich verziehen oder vom Modell ablösen.



AUSTRITTSLÖCHER

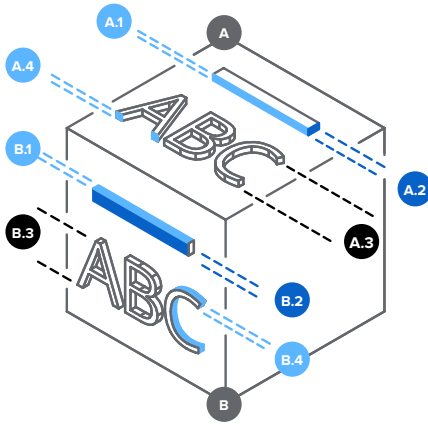
Eingeschlossene Hohlräume bleiben mit ungesintertem Pulver gefüllt, wenn keine entsprechenden Austrittslöcher vorhanden sind. Für optimale Ergebnisse sollten Sie mindestens **2 Austrittslöcher** aus der Kavität vorsehen, die im Durchmesser größer oder gleich **3,5 mm** sind.

Anmerkung: Mehr und größere Austrittslöcher erleichtern das Entfernen von ungesintertem Pulver aus inneren Hohlräumen. Um eine saubere Innenfläche zu gewährleisten, konstruieren Sie das Teil so, dass die betreffende Fläche mit Reinigungswerkzeugen leicht zugänglich ist.

MINDESTWERTE GEPRÄGTER MERKMALE

A. HORIZONTALE FLÄCHEN:

- A.1 Tiefe: 0,15 mm
- A.2 Breite: 0,35 mm
- A.3 Höhe der Schrift: 4,5 mm
- A.4 Tiefe der Schrift: 0,3 mm



B. VERTIKALE FLÄCHEN:

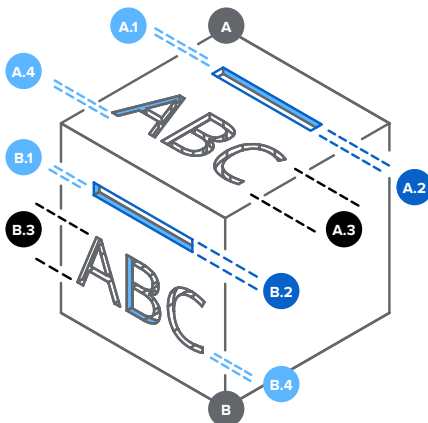
- B.1 Tiefe: 0,35 mm
- B.2 Breite: 0,4 mm
- B.3 Höhe der Schrift: 4,5 mm
- B.4 Tiefe der Schrift: 0,3 mm

Geprägte Merkmale werden aus der Oberfläche des Modells extrudiert. Kleine geprägte Merkmale sind auf dem fertigen Teil möglicherweise nicht sichtbar. Verwenden Sie nach Möglichkeit eine fette Schrift, um bei geprägtem Text ein optimales Ergebnis zu erzielen.

MINDESTWERTE EINGRAVIERTER MERKMALE

A. HORIZONTALE FLÄCHEN:

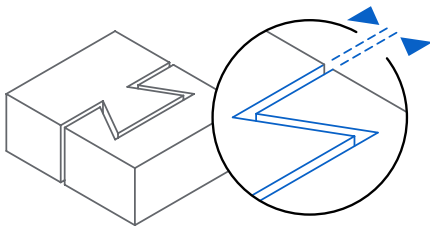
- A.1 Tiefe: 0,1 mm
- A.2 Breite: 0,3 mm
- A.3 Höhe der Schrift: 3 mm
- A.4 Tiefe der Schrift: 0,3 mm



B. VERTIKALE FLÄCHEN:

- B.1 Tiefe: 0,15 mm
- B.2 Breite: 0,35 mm
- B.3 Höhe der Schrift: 3 mm
- B.4 Tiefe der Schrift: 0,3 mm

Eingravierte Merkmale werden aus der Oberfläche des Modells geschnitten. Kleine eingravierte Merkmale sind auf dem fertigen Teil möglicherweise nicht sichtbar. Verwenden Sie nach Möglichkeit eine fette Schrift, um bei graviertem Text ein optimales Ergebnis zu erzielen.

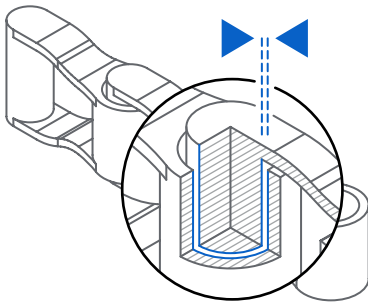


MINIMALE MONTAGETOLERANZEN

Merkmale kleiner als 20 mm²: 0,2 mm

Merkmale größer als 20 mm²: 0,4 mm

Lassen Sie einen kleinen Abstand zwischen gedruckten Teilen, die nach dem Druck ineinandergreifen oder sich berühren sollen, wie z. B. Montageverbindungen oder Zahnrädern.



INTEGRIERTER BAUGRUPPENABSTAND

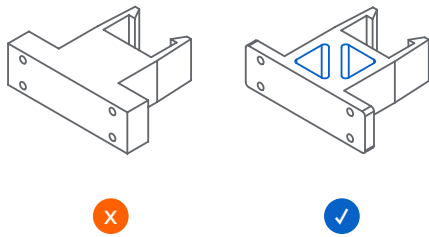
Merkmale kleiner als 20 mm²: 0,3 mm

Merkmale größer als 20 mm²: 0,6 mm

Lassen Sie Abstände bei Teilen, die zusammen in einer integrierten Baugruppe gedruckt werden. So verhindern Sie, dass die Teile während des Drucks miteinander verschmelzen.

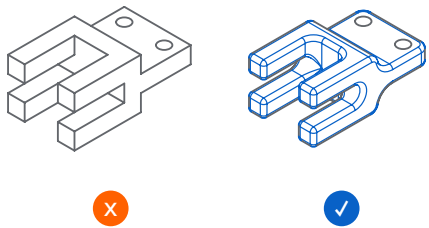
Erfolgreiche Designs erzielen

Der Prozess des SLS-3D-Drucks zeichnet sich durch die Verwendung losen Pulvers aus, das versintert wird, um das Druckteil zu formen. Dadurch wird ein Druck ohne zusätzliche Stützstrukturen möglich. Wie bei jedem Fertigungsverfahren gibt es auch hier Möglichkeiten, für das Design zu optimieren, um bessere Druckerfolge und Ergebnisse zu erzielen. Folgende Empfehlungen können Ihnen helfen, Material und Druckzeit zu sparen und zugleich Ihr Bauteil für einen erfolgreichen Druck und die Implementierung zu optimieren.



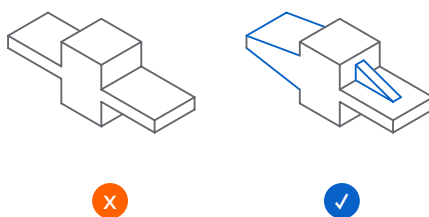
BEIBEHALTUNG EINER GLEICHMÄSSIGEN WANDSTÄRKE

Wenn möglich, halten Sie die Stärke Ihrer Teile relativ konstant. Dadurch werden Verzugsprobleme beim Abkühlen der Teile vermieden. Ziehen Sie das Aushöhlen dickerer Teile in Betracht, um eine gleichmäßige Wandstärke zu erhalten und Material zu sparen.



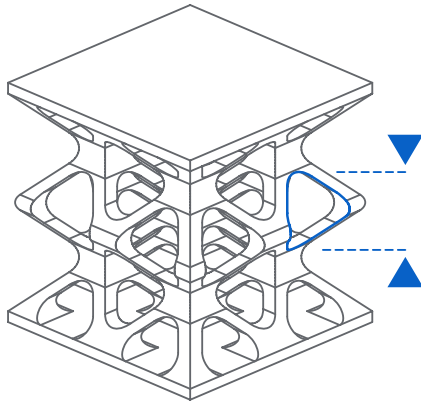
REDUZIEREN VON SPANNUNGSKONZENTRATIONEN

Teile können an abruhten Querschnittsänderungen, wie z. B. dünnen Extrusionen aus dicken Böden, Spannungen aufbauen. Konstruieren Sie sanfte statt abrupte Kantenübergänge, um diese Spannungskonzentrationen zu reduzieren.



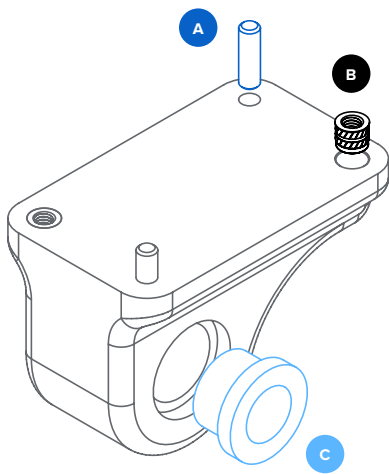
MASSNAHMEN FÜR GROSSE SEITENVERHÄLTNISSE

Teile mit einem großen Seitenverhältnis sind anfällig für Verzug. Merkmale wie Rippen oder Formschrägen können das Risiko eines Verzugs bei dünnen, extrudierten Abschnitten wie Auslegern und Drähten verringern.



ENTWERFEN VON GITTERN

Berücksichtigen Sie beim Entwurf einer Gitterstruktur, dass loses Pulver aus dem Gitter entfernt werden muss. Um eine einfache Pulverentnahme im Fuse Sift zu gewährleisten, konstruieren Sie Gitter mit Zwischenräumen, die nicht kleiner sind als **8 mm**, und lassen Sie offene Flächen in Ihrem Gitter, damit kein Pulver eingeschlossen wird.



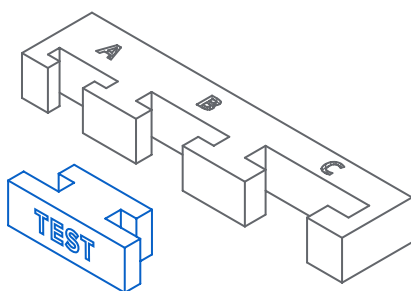
VERBINDUNGSELEMENTE IN IHRE ENTWÜRFE INTEGRIEREN

Ermitteln Sie, an welchen Stellen es sinnvoll ist, Verbindungselemente in Ihre gedruckten Designs zu integrieren. Hier sind einige Beispiele:

- A** Passstifte als präzise Fixierungsmerkmale
- B** Wärmeingebettete Einsätze für dauerhafte Gewindeverbindungen
- C** Buchsen für konzentrische Schnittstellen zu Löchern oder Schienen

IM ZWEIFELSFALL: TESTEN!

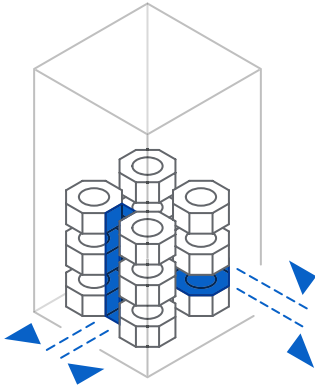
Wenn Sie Zweifel am Erfolg eines bestimmten Merkmals haben, erstellen Sie einen kleinen Testdruck der betreffenden Geometrie. Isolieren Sie das Merkmal und drucken Sie das Testteil in der gleichen Ausrichtung wie für das vollständige Teil vorgesehen, um den besten Vergleichswert für den Designerfolg zu erhalten.



Anmerkung: Sie können versuchen, gleichzeitig mehrere Testteile mit unterschiedlichen Abmessungen zu drucken, um verschiedene Passungen zu testen, bevor Sie sich für einen größeren Druck entscheiden.

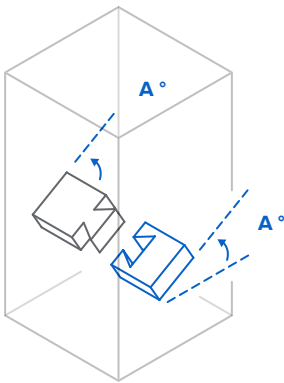
Modellausrichtung und Packen der Kammer

Die Ausrichtung der Teile in der Konstruktionskammer der Drucker der Fuse-Serie kann den Druckerfolg ebenfalls beeinflussen. Im Folgenden finden Sie einige hilfreiche Tipps, die Sie bei der Ausrichtung Ihrer Teile beachten sollten.



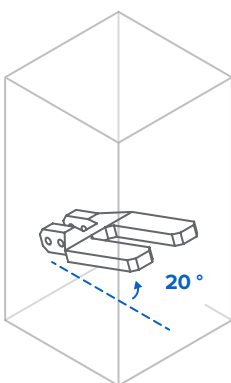
ABSTAND DER TEILE

Wenn Sie die Konstruktionskammer mit Teilen bestücken, achten Sie darauf, dass die Teile mindestens **5 mm** Abstand zueinander haben, um qualitativ hochwertige Ergebnisse zu erzielen. Verteilen Sie die Teile in der Kammer, um die Gefahr eines Wärmestaus zu verringern.



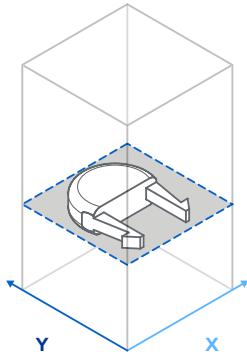
VERBINDEN VON KOMPONENTEN

Bei Teilen, die miteinander verbunden werden sollen, sollten die Gegenstücke in der gleichen Rotationsrichtung ausgerichtet sein, um sicherzustellen, dass sie sauber zusammenpassen.



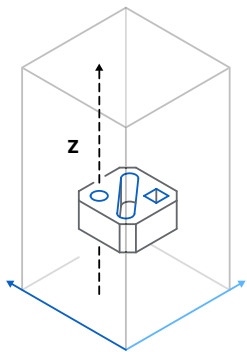
TEILE MIT GROSSEM SEITENVERHÄLTNIS

Teile mit einem großen Seitenverhältnis, die breit und relativ flach sind, sollten in einem leichten Winkel von etwa **20°** gedruckt werden, um den Verzug zu minimieren.



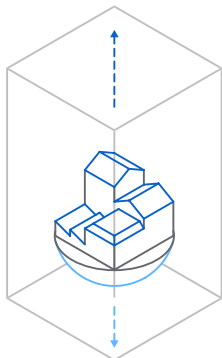
BIEGEEIGENSCHAFTEN

Gedruckte Teile sind in der XY-Ebene zäher als in der Z-Ebene. Richten Sie Merkmale wie Schnappverbindungen und andere Biegeelemente so aus, dass sie sich möglichst in der XY-Ebene biegen.



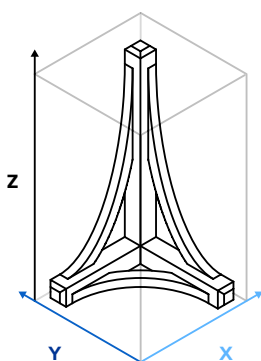
MASSGENAUIGKEIT

Merkmale wie Bohrungen und Stifte sind am genauesten, wenn ihre Achsen in Z-Richtung ausgerichtet sind. Wenn möglich, richten Sie diese Merkmale senkrecht in der Kammer aus.



OBERFLÄCHENGÜTE

Für Merkmale, bei denen eine glatte Oberflächengüte gewünscht ist, wie z. B. abgerundete Flächen oder Konturen, richten Sie die Oberfläche nach unten aus. Richten Sie Elemente, die eine präzise und klare Oberflächengüte benötigen, nach oben aus.



FERTIGUNGSVOLUMEN UND PACKDICHTE

Das Fertigungsvolumen bezeichnet die größtmögliche Geometrie, die auf den Druckern der Fuse-Serie gedruckt werden kann. Für die Packdichte innerhalb dieses Fertigungsvolumens gibt es keine physischen Einschränkungen. Das bedeutet, dass das gesamte Fertigungsvolumen gefüllt werden kann, um die Druckteilgröße zu maximieren und Pulverabfälle zu reduzieren. Die maximale Druckteilgröße kann sich von Material zu Material leicht unterscheiden; bitte beachten Sie den untenstehenden Abschnitt für mehr Informationen.

Materialspezifische Eigenschaften

Für optimale Ergebnisse beim Druck mit Druckern der Fuse-Serie ist es wichtig, die spezifischen Eigenschaften des jeweils verwendeten Materials zu berücksichtigen. Die folgenden Richtlinien unterstützen Sie bei der Optimierung Ihrer Designs für die additive Fertigung mit verschiedenen SLS-Pulvern für die Drucker der Fuse-Serie.

Fertigungsvolumen

Da die Materialien über unterschiedliche Wärmeausdehnungswerte verfügen, fällt die maximal druckbare Teilgröße in den Druckern der Fuse-Serie unterschiedlich aus. Die maximal erreichbaren Druckteilgrößen sind in der untenstehenden Tabelle angegeben:

MATERIAL	MAXIMALE DRUCKTEILGRÖSSE
Nylon 12 Powder	159,8 x 159,8 x 295,5 mm
Nylon 12 GF Powder	160,1 x 160,1 x 297,3 mm
Nylon 11 Powder	158,6 x 158,6 x 294,4 mm
Nylon 11 CF Powder	162,0 x 162,0 x 287,6 mm
TPU 90A Powder	152,1 x 152,1 x 294,9 mm

Designüberlegungen für Nylon 12 Powder

Nylon 12 Powder eignet sich aufgrund seiner ausgeglichenen Materialeigenschaften, einfachen Druckbarkeit und Nachbearbeitung sowie seiner Biokompatibilität hervorragend als Allzweckmaterial. Die in den vorherigen Abschnitten angegebenen Richtlinien wurden für Nylon 12 Powder zusammengestellt, sodass keine zusätzlichen Designüberlegungen notwendig sind.

Designüberlegungen für Nylon 12 GF Powder

Nylon 12 GF Powder ist das perfekte Material für den Druck starrer, temperaturbeständiger Teile, die Belastungen formstabil standhalten. Einen zusätzlichen Vorteil bilden seine Biokompatibilität und seine Eignung für Anwendungen mit Hautkontakt.

Folgende Designüberlegungen gelten für dieses Material:

- **Oberflächenrauheit:** Dieses Material ergibt eine rauere Oberflächenbeschaffenheit als Teile aus Nylon 12 Powder. Bei Designs, die eine glatte Oberfläche erfordern, sollten zusätzliche Nachbearbeitungsschritte eingeplant werden, um diese zu erreichen – zum Beispiel Zerspanung, Schleifen oder andere Fertigstellungsschritte.
- **Sprödigkeit:** Die Glasperlenfüllung von Nylon 12 GF Powder sorgt für gesteigerte Steifigkeit, führt allerdings auch zu mehr Sprödigkeit. Filigrane Positivmerkmale müssen eventuell dicker gestaltet werden, damit sie bei der Nachbearbeitung und der Endverwendung nicht abbrechen. Die Sprödigkeit tritt vor allem zwischen Schichtübergängen auf, also sollten Merkmale, die mehr Festigkeit erfordern, nach Möglichkeit entlang der XY-Achse ausgerichtet werden.

- **Austrittslöcher:** Druckteile aus Nylon 12 GF Powder weisen eine härtere Surface-Armor-Hülle auf als Teile aus Nylon 12 Powder. Die Austrittslöcher sollten größer angelegt werden und idealerweise sollten alle (internen und externen) Oberflächen unmittelbar einsehbar sein, damit sie im abschließenden Reinigungsschritt mit einem Strahlgerät vollständig gereinigt werden können.

Designüberlegungen für Nylon 11 Powder

Mit Nylon 11 Pulver gedruckte Teile verfügen über eine höhere Duktilität als Teile aus Nylon 12 Powder. Sie bieten eine höhere Beständigkeit gegenüber Stößen und Vibration und sind für biokompatible Anwendungen validiert.

Folgende Designüberlegungen gelten für dieses Material:

- **Verzug:** Nylon 11 Powder hat eine erhöhte Tendenz zum Verziehen, wenn in der XY-Achse größere Querschnitte gedruckt werden. Befolgen Sie die Richtlinien für Teile mit großem Seitenverhältnis, um die Effekte des Verzugs zu minimieren.
- **Spiel:** Integrierte Baugruppen erfordern größere Abstände. Lassen Sie mindestens 1 mm Abstand zwischen den einzelnen Komponenten integrierter Baugruppen und führen sie Iterationen durch, um die optimalen Abstände zu ermitteln, die die Anforderungen der Baugruppe am besten erfüllen.
- **Filigrane Details:** Die Mindestwerte von Merkmalen an Teilen aus Nylon 11 Powder sind etwas größer als bei Nylon 12 Powder und können je nach der Ausrichtung des Merkmals auf dem Druckteil variieren. Das kann sich auf filigrane Details wie kleine Vertiefungen, kleine Erhebungen, dünne Wände, geprägten Text oder eingravierten Text auswirken. Um eine korrekte Auflösung filigraner Merkmale zu gewährleisten, führen Sie zunächst einen kleinen Testdruck mit den gewünschten Details durch, bevor Sie das gesamte Teil oder eine Serie von Teilen drucken.

Designüberlegungen für Nylon 11 CF Powder

Nylon 11 CF Powder ist ein Hochleistungsmaterial mit erstklassiger Steifigkeit, Temperaturbeständigkeit, Schlagfestigkeit und Zugfestigkeit. Es neigt außerdem weniger zum Verziehen als Nylon 11 Powder und eignet sich daher besser für Druckteile mit großen Querschnitten.

- **Oberflächenrauheit:** Ähnlich wie Nylon 12 GF Powder ergibt dieses Material eine rauere Oberflächenbeschaffenheit als Teile aus Nylon 12 Powder. Bei Designs, die eine glatte Oberfläche erfordern, sollten zusätzliche Nachbearbeitungsschritte eingeplant werden, um diese zu erreichen – zum Beispiel Zerspanung, Schleifen oder andere Fertigstellungsschritte.
- **Anisotrope Eigenschaften in der X-, Y- und Z-Achse:** Da Kohlenstofffasern sich tendenziell entlang der X-Achse, bzw. parallel zur Vorderseite des Druckers ausrichten, fallen die mechanischen Eigenschaften der Druckteile in der X-Achse anders aus als in der Y-Achse. Ähnlich wie bei anderen 3D-gedruckten Teilen weisen die Druckteile auch in der Z-Achse abweichende mechanische Eigenschaften auf, die üblicherweise unter denen der XY-Achsen liegen. Für maximale Steifigkeit und Festigkeit sollten Merkmale entlang der X-Achse ausgerichtet werden.

Designüberlegungen für TPU 90A Powder

TPU 90A Powder ist ein Elastomer, das eine erhöhte Reißfestigkeit und Bruchdehnung liefert. Mit einer Shore-Härte von 90A bietet das Material feste, gummiähnliche Eigenschaften. Es lassen sich damit weichere Teile erstellen, indem Volumenkörper durch Gitterstrukturen ersetzt werden, um die gewünschte Steifigkeit zu erreichen. TPU 90A Powder ist biokompatibel und für Anwendungen mit Hautkontakt geeignet.

- **Dicke Querschnitte:** Filigrane Details (wie kleine Stifte, Löcher und eingraviertes oder geprägtes Text auf der Teiloberfläche mit einer Dicke über 3–4 cm) werden womöglich nicht aufgelöst. Dies ist bedingt durch die Wärmeentwicklung im Teil und kann durch eine andere Ausrichtung der Teile oder durch Aushöhlung der Geometrien verbessert werden.
- **Filigrane Details:** Die Mindestwerte von Merkmalen an Teilen aus TPU 90A Powder sind etwas größer als bei Nylon 12 Powder und können je nach der Ausrichtung des Merkmals auf dem Druckteil variieren. Das kann sich auf filigrane Details wie kleine Vertiefungen, kleine Erhebungen, dünne Wände, geprägten Text oder eingravierten Text auswirken. Um eine korrekte Auflösung filigraner Merkmale zu gewährleisten, führen Sie zunächst einen kleinen Testdruck mit den gewünschten Details durch, bevor Sie das gesamte Teil oder eine Serie von Teilen drucken.
- **Verzug:** TPU 90A Powder hat eine Tendenz zum Verziehen. Typischerweise tritt Verzug verstärkt auf der Unterseite der Teile auf. Befolgen Sie die Richtlinien für Teile mit großem Seitenverhältnis, um die Effekte des Verzugs zu minimieren.
- **Maßgenauigkeit:** Das Layout eines Druckauftrags kann sich auf die Maßgenauigkeit der Teile auswirken. Packen Sie die Teile eng aneinander am unteren Ende der Konstruktionskammer, um die höchste Maßgenauigkeit zu erzielen.
- **Spiel:** Integrierte Baugruppen erfordern größere Abstände. Sorgen Sie für einen Abstand von mindestens 1 mm, damit integrierte Baugruppen wie vorgesehen funktionieren. Zwischenräume in direkter Nähe zu dickeren Querschnitten erfordern womöglich einen größeren Abstand, während bei Zwischenräumen in direkter Nähe zu dünnen Querschnitten auch ein kleiner Abstand ausreicht.
- **Dehnung runder Merkmale:** Runde Geometrien mit einer Achse auf der XY-Ebene tendieren dazu, sich auszudehnen und eine leicht elliptische statt einer zirkulären Form anzunehmen. Wählen Sie die Ausrichtung so, dass runde Geometrien entlang der Z-Achse ausgerichtet sind, um diesen Effekt zu mindern.

Wenn Sie Fragen zu spezifischen Merkmalsgrößen bei Ihrem Modell haben, können Sie diese in unserem Forum stellen oder uns unter support@formlabs.com kontaktieren.

Vertriebsanfragen Deutschland

vertrieb@formlabs.com
+49 30 88789870

formlabs.com/de

Vertriebsanfragen Europa

eu-sales@formlabs.com
+44 20 3037 8983 (UK)
+49 1573 5993322 (EU)

formlabs.com/eu

Vertriebsanfragen International

Vertriebspartner in Ihrer Region finden:
formlabs.com/de/company/partners