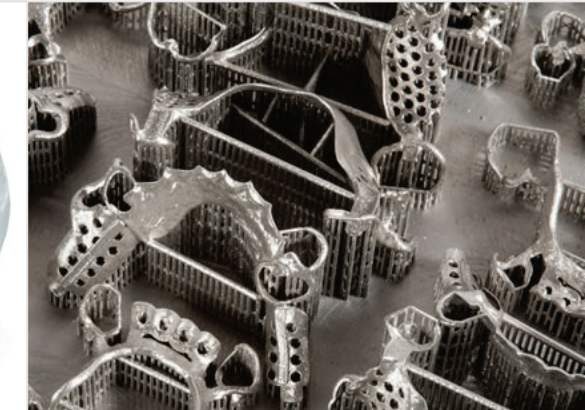
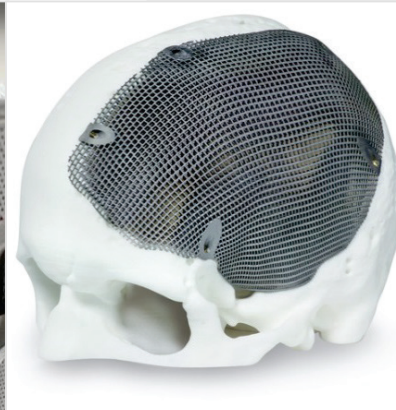


# DESIGN FÜR DIE ADDITIVE FERTIGUNG



Wintersemester 2021/22



Design für die Additive Fertigung

## GLIEDERUNG

1. **Motivation (I): Einführung in das Thema Fertigung und Fertigungsplanung**
2. **Motivation (II): Konstruktionsrichtlinien / -möglichkeiten**

# Konstruktionsempfehlungen für das FDM/FFF

Durch große Bandbreite an Maschinenteknik und Materialien ist bislang keine belastbare Norm in Kraft.

Es gelten Richtwerte auf Basis von Herstellerangaben und Expertenwissen der Anwender und Dienstleister.

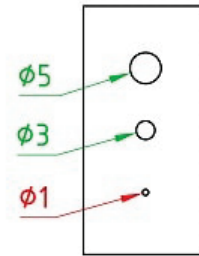
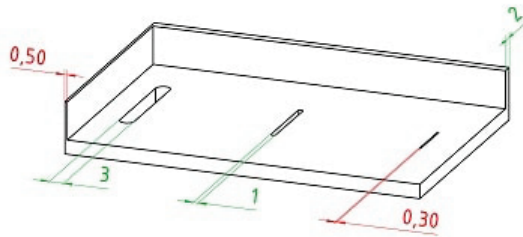
Allgemein ist anzunehmen, dass das Fused Deposition Modeling bzw. FFF-Verfahren nach Allgemeintoleranzen DIN ISO 2768-1 in die Kategorie "sehr grob" einzuordnen ist.

Es ist eine Richtlinie in Vorbereitung: VDI 3405 Blatt 4: Möglicher Erscheinungstermin: 2020-04

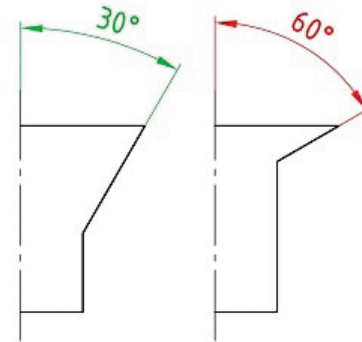
## Minimale positive XY-Geometrien abhängig von Düsendurchmesser

Allgemeine Empfehlungen:

- Wandbreite größer als 2 x Schichtstärke oder Verrippung, da sonst Gefahr von Verzug



Bohrungen



Überhänge

# Allgemeine Parameter

Minimale Wanddicke: 1 mm

Minimale Details: 0,8 mm

Toleranzen: 0,5 mm

Geschlossene oder ineinandergreifende Teile: Ja

Da das Material durch eine Düse Extrudiert wird, sollten zu dünne Wandstärken vermieden werden, beachten Sie hierfür die oben genannten Spezifikationen.

Es gilt, starke Überhänge zu vermeiden, ein Winkel von bis zu 30° zur Vertikalen stellt kein Problem dar. Ab einem Winkel von ca. 45°, muss das Bauteil mit wasserlöslichem Stützmaterial gedruckt werden.

Zu vermeiden sind ebenfalls Bohrungen unter 3 mm Durchmesser, alle darunterliegenden Bohrungen müssen manuell hergestellt werden.

Bewegliche Teile sollten mindestens einen Spalt von 0,3 - 0,5 mm zueinander Aufweisen.

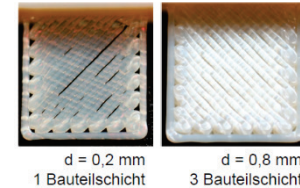
Um einen Verzug der Bauteile zu vermeiden sollten die Ecken leicht abgerundet sein.

Gewinde ab M10 können gedruckt werden, kleinere Gewinde müssen geschnitten werden. Hierfür sollte im Modell das Kernloch vorhanden sein.

# Schichtstärke

Keine Überlappung von Rasterbahnen in der einzelnen Bauteilschicht

- Teilweise Spalte zwischen Rasterbahnen
- Durch Überdeckung von Rasterbahnen mehrerer Bauteilschichten entstehen geschlossene Flächen



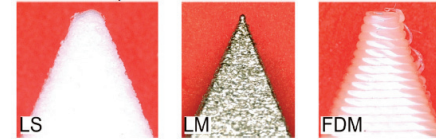
Allgemeine Beschreibung	ungünstig	fertigungsgerecht	LS	LM	FDM
Spezifische Beschreibung					
Dicken, die hauptsächlich durch Schichten approximiert werden ( $\delta_{Ori} \rightarrow 0^\circ$ ), sollten so groß sein, dass die abgelegten Rasterbahnen durch Überlagerung eine möglichst geschlossene Fläche bilden.					
FDM: $d \geq 0,8 \text{ mm}$					X

Eigenschaften	ABS	PLA	Eigenschaften	ABS	PLA
Schmelzindex MVI (im Schnitt) [cm <sup>3</sup> /10min]	9,7	10,3	Bruchfestigkeit [MPa]	~ 70	~ 60
Erweichungstemperatur [°C]	110 - 125	70 - 80	E-Modul [MPa]	~ 2300	~ 3500
Schmelztemperatur [°C]	210 - 240	160 - 190	Kerbschlagzähigkeit (IZOD) [kJ/m <sup>2</sup> ]	5 - 50	2 - 40
Warp-Effekt	groß	gering	Witterungsbeständigkeit	gut	mäßig
Flammbarkeit	brennbar	nicht brennbar	Toxizität	reizend	nicht reizend
Nachbehandlungs- Möglichkeiten (bohren, fräsen, veredeln, etc.)	gut	mittel	UV-Beständigkeit	mittel	hoch
Reibungswiderstand	gering	mittel	Oberflächenhärte	mittel	hoch
			Schwellwert (Strangaufweitung)	groß	mittel

# Bauteilorientierung, -position und -anordnung

Minimale Abmessungen limitiert durch Bahnen in der Bauteilschicht  
 Verdickungen entstehen an den Spitzen  
 Verdickungen durch Fasen vermeiden  
 Fasen, die parallel zur Bauebene verlaufen, sind einfach zu fertigen  
 (nicht durch Schichten approximiert)

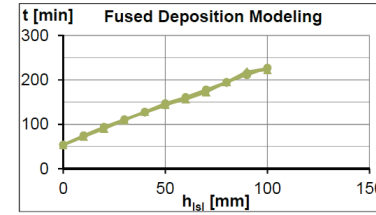
Ecken mit Spitzer Sollkontur:



Allgemeine Beschreibung			LS	LM	FDM
Spezifische Beschreibung	ungünstig	fertigungsgerecht			
Ecken, die eine vertikale Extremstelle bilden sollten parallel zur Bauebene gefast werden. Die Abmessungen der Fasen sollten größer als die minimale Dicke von Wänden sein.	 	 	X	X	X

# Supporterstellung / Inseln

Unterbauung von Inseln durch solide Stützstrukturen notwendig  
 Erzeugung von soliden Stützen erfordert Düsenwechsel in jeder Schicht  
 Zunehmende Inselhöhe erhöht Anzahl von Schichten mit soliden Stützstrukturen  
 Anzahl Düsenwechsel steigt -> Bauzeit wird verlängert



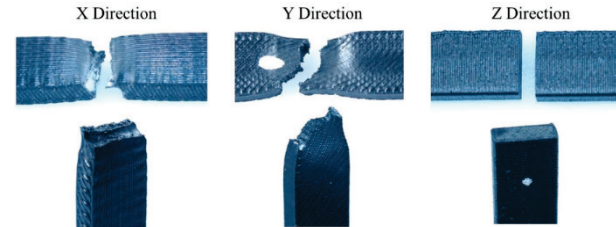
Allgemeine Beschreibung	ungünstig	fertigungsgerecht	LS	LM	FDM
Spezifische Beschreibung					
Die Höhe einer Insel sollte so gering wie möglich sein, da große Höhen die Bauzeit eines Bauteils deutlich verlängern.					X

# Anisotropie der Werkstoffeigenschaften

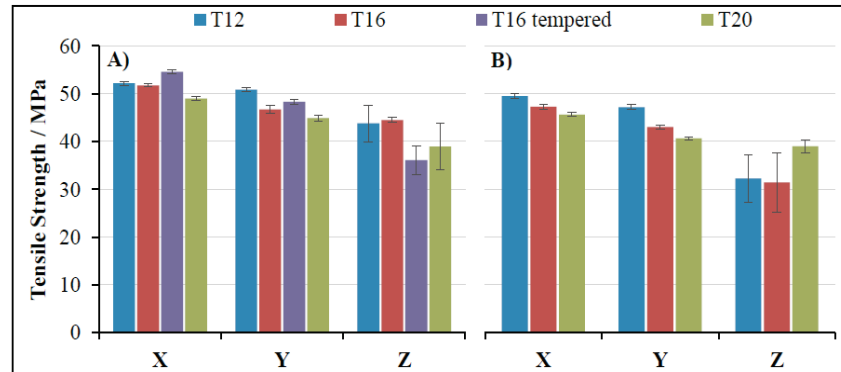
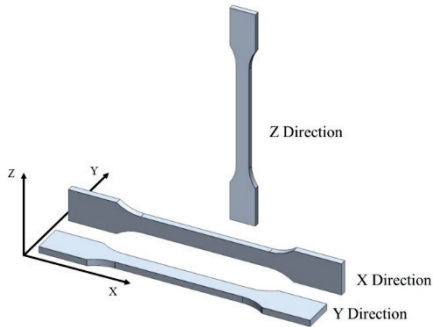
In Z-Richtung (in Baurichtung) deutlich verringerte Zugfestigkeit

Riss zwischen Schichten üblich

Abhängigkeit von Schichtstärke geringer ausgeprägt



a



Zugfestigkeit PA12 (FDM) in unterschiedlicher Baurichtung und Schichtstärke A) DIN EN ISO 527 and B) ASTM D638

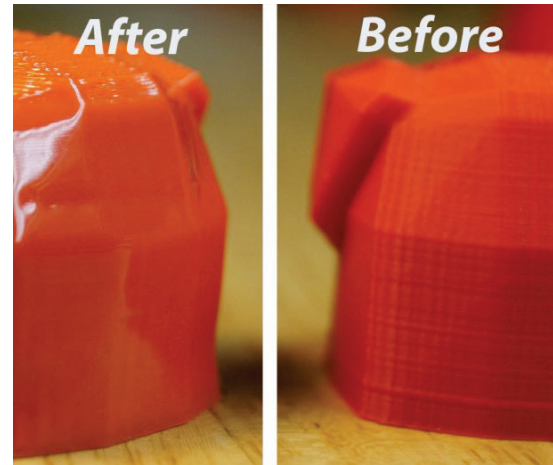
# Folgeprozesse zur Nachbearbeitung

Chemische Prozesse zur Oberflächenglättung unter Nutzung von

- Dimethyl ketone (90%/10%H<sub>2</sub>O)
- Methyl ethyl ketone
- Aceton
- Tetrahydrofuran (Dampf)

Anlösen der Oberfläche führt zur Glättung der Baustufen

Änderungen der Abmessung beachten!

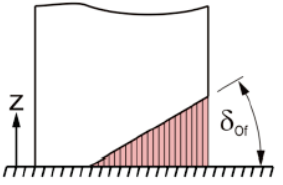
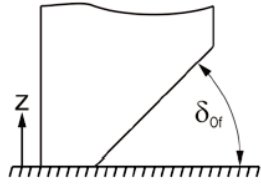


# Konstruktive Aspekte des Bauteils

Geringe Überdeckung abgelegter Strängen mit dem teilfertigen Bauteil bei kleinen Oberflächenwinkeln

Stränge fallen aus Nennposition heraus



Allgemeine Beschreibung	ungünstig	fertigungsgerecht	LS	LM	FDM
Spezifische Beschreibung					
Oberflächenwinkel sollten so groß sein, dass solide Stützstrukturen vermieden werden können.				X	X
LM: $\delta_{Of} \geq 45^\circ$ FDM: $\delta_{Of} \geq 35^\circ$					

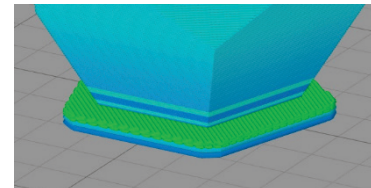
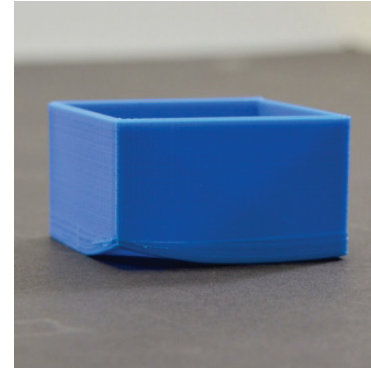
# Reduzierung von Verzug

Gleichmäßige und langsame Abkühlung ermöglichen

- Beheiztes Bett
- Beheizter Bauraum

Unterbauten hinzufügen („rafts“)

- Erhöhen Haftung an Bauplatzform
- Reduzieren Verzug
- ~5 Schichten
- Abstand/Spalt zwischen raft und Bauteil ermöglicht einfache Trennung bei gleichzeitiger Stabilität (~0,1-0,2mm)

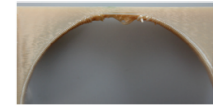


„raft“ als Unterbau zur Vermeidung von Verzügen

# Hohlräume / Bohrungen

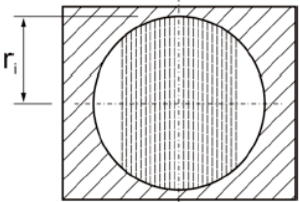
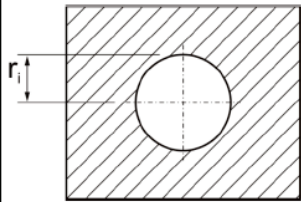
Unterbauung der Stränge mit soliden Stützen bei großen Innenradien notwendig

Steifigkeit der Stränge ausreichend bei kleinen Radien



Prüfkörper FDM:  
Oberflächenfehler  
aufgrund mangelnder  
Steifigkeit der Stränge

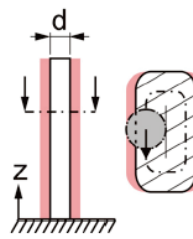
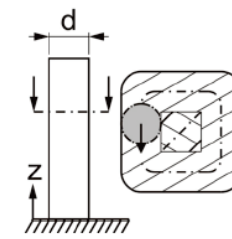
[AZ13]

Allgemeine Beschreibung	ungünstig	fertigungsgerecht	LS	LM	FDM
Spezifische Beschreibung					
Sollen 0°-orientierte Bohrungen ohne solide Stützstrukturen im Inneren gefertigt werden, so muss der Innenradius ausreichend klein sein.				X	X
LM: $r_i \leq 4,5 \text{ mm}$ FDM: $r_i \leq 5,0 \text{ mm}$					

# Wanddicke

Kontur- und Rasterbahnen benötigen ausreichend Platz in x-y-Richtung

Bei kleinen Solldicken  $d$  ist nicht ausreichend Platz für die Bahnen gegeben -> Maßabweichungen entstehen

Allgemeine Beschreibung			LS	LM	FDM
Spezifische Beschreibung	ungünstig	fertigungsgerecht			
Die Dicke von Wänden sollte so groß sein, dass jede Bauteilschicht aus einer Kontur mit einbeschriebenem Raster besteht.			X	X	X
<i>LS:</i> $d \geq 1,0 \text{ mm}$ <i>LM:</i> $d \geq 0,6 \text{ mm}$ <i>FDM:</i> $d \geq 1,5 \text{ mm}$					



Design für die Additive Fertigung

# Design für die Additive Fertigung 2021 - 04

Technische Universität Bergakademie Freiberg  
IMKF - Additive Fertigung  
Agricolastraße 1, 09599 Freiberg, Germany

Prof. Dr.-Ing. Henning Zeidler  
Tel: +49 3731 39 30 66  
henning.zeidler@imkf.tu-freiberg.de

