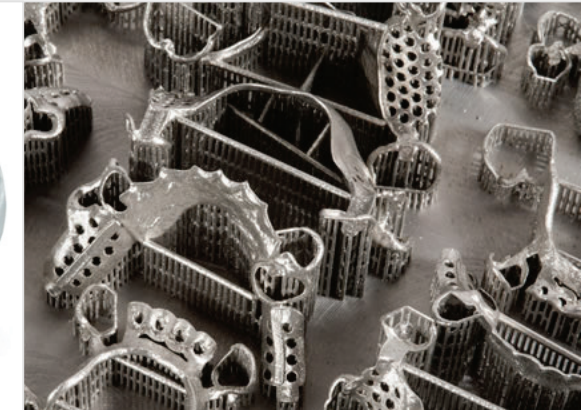
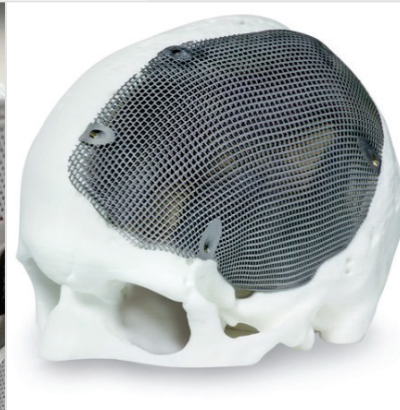


DESIGN FÜR DIE ADDITIVE FERTIGUNG



Wintersemester 2021/22



GLIEDERUNG

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

Konstruktionsempfehlungen für das Lasersintern von Kunststoffen

Die industrielle Anwendung der SLS seit vielen Jahren unterstützt die Standardisierung
Überschaubare Materialpalette erleichtert Vergleichbarkeit
VDI 3405 gibt umfassende Hinweise zur Konstruktion und Materialeigenschaften

Werkstoff- und Gefügecharakteristika 1: teilkristalline Werkstoffe

Für das Laser-Sintern sind verschiedene pulverförmige Thermoplaste verfügbar, wobei schwerpunktmäßig teilkristalline Materialien verwendet werden.

Teilkristalline Thermoplaste weisen eine von der Aufschmelztemperatur abweichende Kristallisationstemperatur auf.

- Durch den engen Schmelzbereich kann das Material hier bis knapp unterhalb der Schmelztemperatur vorgeheizt werden. Die Viskosität von teilkristallinen Thermoplasten nimmt dann beim Energieeintrag durch den Laser durch Überschreiten der Kristallitschmelztemperatur stark ab.
- Dadurch kann sich ein ebener Schmelzefilm bilden.
- Nach dem Aufschmelzen verbleibt die Schmelze auf oder über dem Niveau der Pulverbetttemperatur.
- Dadurch erfolgen die Erstarrung und damit die Schrumpfung des Bauteils zeitverzögert.
- Das ermöglicht die Herstellung verzugsarmer und mechanisch belastbarer Bauteile.

Die vernehmliche Verwendung teilkristalliner Werkstoffe beim Laser-Sintern ist dadurch begründet, dass deren Eigenschaften bei der Prozessführung explizit genutzt werden.

Die materialinhärenten Eigenschaften können durch Füllstoffe und Zusatzstoffe (Additive) modifiziert werden [1 bis 4].

Für das Laser-Sintern ist bislang nur das teilkristalline PA 12 von größerer Bedeutung [2; 5]. Eine Auswahl verfügbarer Werkstoffe ist in Tabelle 2 zusammengefasst.

Werkstoff- und Gefügecharakteristika 2: amorphe Werkstoffe

Bei amorphen Thermoplasten wird aufgrund des hier typischen weiten Erweichungsbereichs eine derartige Prozessführung verhindert.

- Die belichteten Bereiche erstarren unmittelbar nach dem Energieeintrag durch den Laser.
- Hierdurch kann sich kein ebener Schmelzefilm als Grundvoraussetzung für dichte Bauteile bilden.
- Die Bauteile verfügen daher über eine hohe Porosität und eine geringe mechanische Belastbarkeit.

Die hohe Maßhaltigkeit ermöglicht allerdings den Einsatz z. B. als verlorene Kerne beim Feinguss [1 bis 3].

Die Werkstoffherstellung ist aufgrund spezifischer Materialeigenschaften und der Problematiken bei der Pulvererzeugung nicht trivial.

Daher ist die Palette der verfügbaren Kunststoffe begrenzt.

Das erzielbare Werkstoffgefüge hängt neben der Art des Polymers insbesondere von der Temperaturführung im Bauprozess ab.

- So wirken sich variierende Energieeinträge und Abkühlbedingungen auf die erzielbare Kristallinität im fertigen Bauteil aus.
- Die Kristallinität wiederum steht in Zusammenhang mit den mechanischen Bauteileigenschaften.

Pauschale Aussagen bezüglich des erzielbaren Gefüges und der damit verbundenen Bauteileigenschaften sind hierbei kaum möglich.

Ähnlich verhält es sich bei der Dichte. Diese korreliert mit den mechanischen Bauteileigenschaften [6].

Das Werkstoffgefüge von lasergesinterten Bauteilen ist aufgrund vieler verschiedener Einflussgrößen inhomogen.

Verfügbare Werkstoffgruppen

Verfügbare Werkstoffgruppen					
Polyamide	Polypropylen	Polyetheretherketon	Polystyrol	Thermoplastische Elastomere	Thermoplastische Polyurethane
Polyamid 6 <ul style="list-style-type: none"> • ungefüllt • glaskugelgefüllt 	PP/PE-Blend <ul style="list-style-type: none"> • ungefüllt 	ungefüllt	ungefüllt	ungefüllt	ungefüllt
Polyamid 11 <ul style="list-style-type: none"> • ungefüllt • glaskugelgefüllt • glasfasergefüllt • aluminiumgefüllt • kohlenstofffaserverstärkt • flammgeschützt 	Polypropylen <ul style="list-style-type: none"> • glaskugelgefüllt 				
Polyamid 12 <ul style="list-style-type: none"> • ungefüllt • glaskugelgefüllt • glasfasergefüllt • aluminiumgefüllt • kohlenstofffaserverstärkt • keramikfasergefüllt • flammgeschützt 					
Anmerkungen					
		nur auf ausgewählten Ablagesystemen verarbeitbar	nur für Feingussurmodelle, keine belastbaren Bauteile		

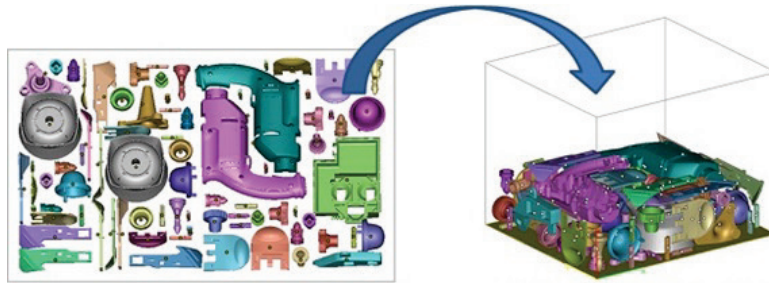
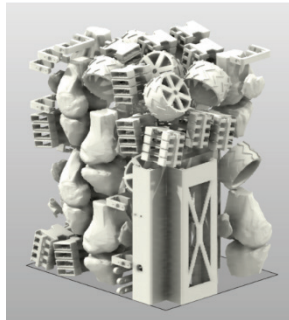
Bauteilorientierung, -position und -anordnung

Die Orientierung, Position und Anordnung von Bauteilen beeinflusst beim Laser-Sintern im Wesentlichen die Bauteileigenschaften.

Eventuell ist die Orientierung des Bauteils mit dem Fertiger abzustimmen.

Die Auswirkungen auf die mechanischen Eigenschaften sowie auf die Oberflächen und Abbildegenauigkeit durch die Bauteilorientierung werden in späteren Abschnitten beschrieben.

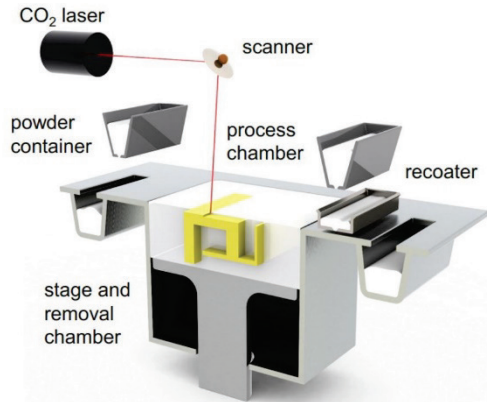
Im Folgenden wird kurz auf weitere Aspekte eingegangen.



Beschichtung

Beim Laser-Sintern werden beim Schichtauftrag Kräfte vom Beschichter auf die Bauteile übertragen. Auch wenn diese bei einer gut eingestellten Maschine sehr gering sind, sind sie bei der Orientierung von filigranen Strukturen zu berücksichtigen.

Anmerkung: Sehr dünne Wände sollten möglichst nicht parallel zum Beschichter angeordnet werden.



Vorheizung

Durch diese Vorheizung kann beim Laser-Sintern auf Stützkonstruktionen üblicherweise verzichtet werden. Jedoch ist die Temperaturverteilung oft inhomogen.

- In den Ecken und zum Rand hin ist es meist kälter.
- Zudem beeinflusst umliegendes Volumen die Wärmeverteilung.

Durch die leicht unterschiedliche Temperaturverteilung können an unterschiedlichen Stellen unterschiedliche Genauigkeiten erreicht werden.

- Durch die schnellere Abkühlung an den Rändern des Bauraums kann es hier zu einer geringeren Abbildegenauigkeit kommen.

Auch die mechanischen Eigenschaften fallen in den kühleren Bereichen anders aus.

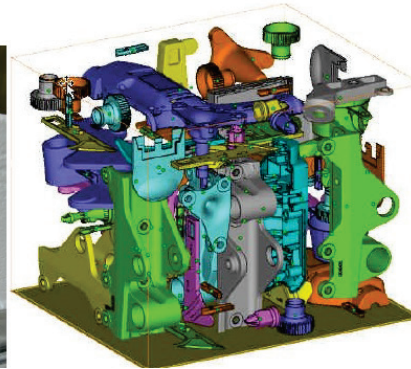
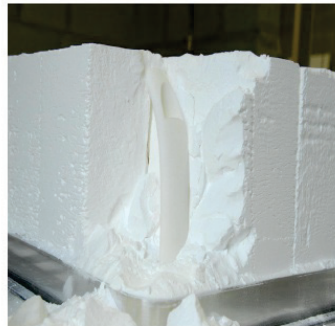
- Sind besondere Genauigkeiten bei einem Bauteil erforderlich, kann es sinnvoll sein, bestimmte Positionen im Bauraum auszuwählen und den minimalen Abstand zu umliegenden Teilen festzulegen.

Wirtschaftlichkeit

Für die Positionierung und Orientierung sollte immer die Funktionalität der Bauteile im Vordergrund stehen. Da beim Laser-Sintern ohne Stützkonstruktionen (das lose Pulver dient bei Überhängen als Unterbau) gebaut werden kann, können hier die Bauteile viel freier verschachtelt werden, als bei anderen Schichtbauverfahren.

Entscheidend für eine wirtschaftliche Fertigung ist daher vielmehr eine gute Ausnutzung des verfügbaren Bauraums als die Lage einzelner Teile.

- 3D nesting



Anisotropie der Werkstoffeigenschaften

Beim Laser-Sintern weisen Bauteile zumeist eine deutliche Anisotropie zwischen den Orientierungen auf.

- Typische Wertebereiche der mechanischen Kennwerte von PA 12 aus einem Ringversuch sind in der VDI 3405 Blatt 1 angegeben.

Die Anisotropie innerhalb der Bauebene, also zwischen x- und y-Richtung, ist bei Verwendung von sich alternierend kreuzenden Scan-Richtungen sehr gering [7].

Eine besonders starke Anisotropie bildet sich dagegen zwischen der Bauebene und der Aufbaurichtung (z-Richtung) aus.

- Hierbei weist vor allem die Festigkeit und die Bruchdehnung größere Differenzen zwischen den Orientierungen auf, während die Unterschiede für den E-Modul bei maximal 6 % liegen.
- Für die Zugfestigkeit können sich prozentuale Abweichungen zwischen den Orientierungen von bis zu 25 % einstellen, wobei die Abweichung im Idealfall jedoch deutlich darunter liegt [8].
- Für die Bruchdehnung liegt der Unterschied maschinen- und parameterabhängig bei 20 % bis 70 %.

Anisotropie der Werkstoffeigenschaften 2

Somit ergibt sich die stärkste Anisotropie für die Bruchdehnung, wobei sich zum Teil zusätzlich ein Übergang von einem duktilen Bruchverhalten mit Streckgrenze innerhalb der Bauebene zu einem spröden Bruch in Aufbaurichtung einstellt.

Dabei werden die höchsten Festigkeiten und Bruchdehnungen innerhalb der Bauebene erreicht, während der E-Modul oftmals in Aufbaurichtung höhere Kennwerte aufweist.

Die Kennwerte für die übrigen Bauteilorientierungen liegen jeweils zwischen diesen Extremwerten, wobei insbesondere die Bruchdehnung und die Festigkeit mit zunehmendem Winkel zur Horizontalen absinken.

Zudem ist die Anisotropie der mechanischen Bauteileigenschaften in den Bauraumrandbereichen und – ecken aufgrund niedrigerer Vorheiztemperaturen, bedingt durch die Inhomogenität der Pulverbetttemperaturen, meist ausgeprägter als in der Bauraummitte.

Dieser Effekt tritt insbesondere bei alternativen Materialien zu PA 12 auf.

Oberflächen

Neben den mechanischen Eigenschaften zeigen auch die Oberflächeneigenschaften eine starke Abhängigkeit von der Flächenorientierung.

- Die üblichen gemittelten Rautiefen R_z liegen bei PA 12 etwa zwischen $40 \mu\text{m}$ und $120 \mu\text{m}$ [9; 10].
- Für alternative Laser-Sinter-Materialien kann dieser Bereich zu höheren oder niedrigeren Rautiefen verschoben sein.
- Vertikale Flächen weisen hierbei Rautiefen in der Mitte des angegebenen Intervalls auf. Flächen parallel zur Bauebene weisen die geringsten Rauheiten auf, während Upskin-Flächen mit Upskin-Winkel zwischen 10° und 25° die höchsten Rauheitswerte ergeben.
- Dieses resultiert aus dem hier besonders ausgeprägten Treppenstufeneffekt aufgrund der schichtweise erfolgenden Aufbauweise der Teile.
- An Downskin-Flächen mit entsprechenden Winkeln ist dieser Effekt weniger ausgeprägt, da die Stufen teilweise durch angesintertes Pulver ausgeglichen werden [11].

Haupteinfluss auf die Rauheit beim Laser-Sintern bildet die Schichtstärke [9].

- Eine Erhöhung der Schichtstärke führt gleichzeitig zu einer Zunahme des Treppenstufeneffekts und bewirkt auch bei vertikalen Flächen eine höhere Rauheit.

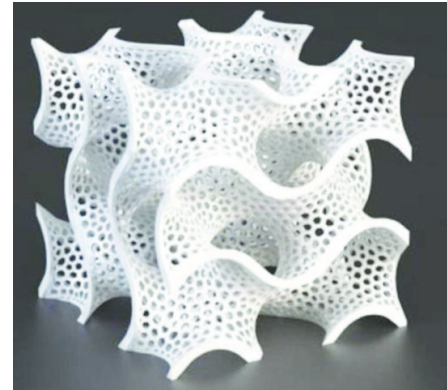
Folgeprozesse zur Nachbearbeitung

Funktionelle Anforderungen:

- Korrosionsbeständigkeit
- Verschleißbeständigkeit
- Gleiteigenschaften
- Rauheit
- Härte
- Festigkeit
- Dichte

Dekorative Anforderungen

- Farbe
- Glanz
- Deckvermögen
- Rauheit
- Einebnung



Folgeprozesse zur Nachbearbeitung

In der Regel findet bei der Nachbearbeitung eine Kombination von oberflächenbehandelnden oder oberflächenbeschichtenden Verfahren statt, um vielfältigen Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit gerecht zu werden.

Üblich ist eine Nachbearbeitung durch Strahlen, um die Bauteile zu reinigen.

Hier ist zu beachten, dass jeder weitere Nachbearbeitungsschritt zu einem zusätzlichen Arbeitsaufwand und damit einhergehend zu erhöhten Kosten führt.

Für mögliche Nachbearbeitungsschritte sind konstruktive Maßnahmen wie Spannflächen und Auf- oder Untermaße vorzusehen.

Bei filigranen Strukturen können Nachbearbeitungsschritte nur eingeschränkt erfolgen.

Durch Nachbearbeitungsschritte induzierte Maß-, Form- und Lageabweichungen sind ebenfalls zu berücksichtigen (z. B. auftretende Ecken- und Kantenverrundung).



Konstruktive Aspekte des Bauteils

Laser-Sintern ist sehr gut geeignet, um die Funktionalität von Bauteilen zu optimieren.

Das Optimierungspotenzial besteht beispielsweise hinsichtlich

- bionischer Strukturen
- belastungsgerechter Gestaltung
- Leichtbau
- integrierter Fluidkanäle
- thermischer oder akustischer Isolierungen

sowie der Möglichkeit, in einem Schritt Baugruppen mit beweglichen Komponenten zu fertigen wie

- (Film-)Scharniere oder
- Balgaktuatoren [14].



Berücksichtigung der Pulverentfernung

Bei der Konstruktionen von Bauteilen, die mittels Laser-Sintern hergestellt werden sollen, ist immer die Pulverentfernung zu berücksichtigen. Dies betrifft alle Bereiche des Bauteils, in denen kein Pulver verbleiben soll, insbesondere

- Spalte
- Bohrungen
- Kanäle
- Hohlräume.

Für schwer zugängliche Bereiche sollten Reinigungsöffnungen vorgesehen werden.



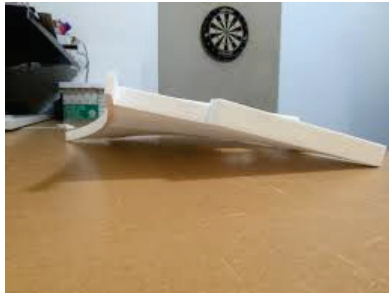
Reduzierung von Verzug

Bei großen Bauteilen kann Verzug auftreten.

Insbesondere sind Schalen geringer Wandstärke, längliche und dünne Bauteile sowie große, ebene Flächen anfällig für Formabweichungen.

Um dem Verzug entgegenzuwirken, können konstruktive Maßnahmen helfen, z. B.:

- Versteifungsrippen
- fließende Übergänge anstelle von Wanddickensprüngen
- sich selbst stabilisierende gekrümmte Flächen
- Berücksichtigung des erwarteten Verzugs in der Konstruktion



Hohlräume

Die Fertigung von Hohlräumen in Bauteilen ist bei dem Laser-Sintern grundsätzlich möglich.

Die Hohlräume enthalten dabei loses, unverarbeitetes Pulver.

Dieses kann durch entsprechende in der Konstruktion vorgesehene Öffnungen nach der Fertigung entfernt oder darin belassen werden.

Eine Verwendung von Hohlräumen in der Konstruktion bietet sich vor allem bei großvolumigen Bauteilen an, um

- den Verzug zu minimieren
- die Prozesssicherheit zu verbessern
- die Bauzeit einzusparen und
- die Masse zu verringern.

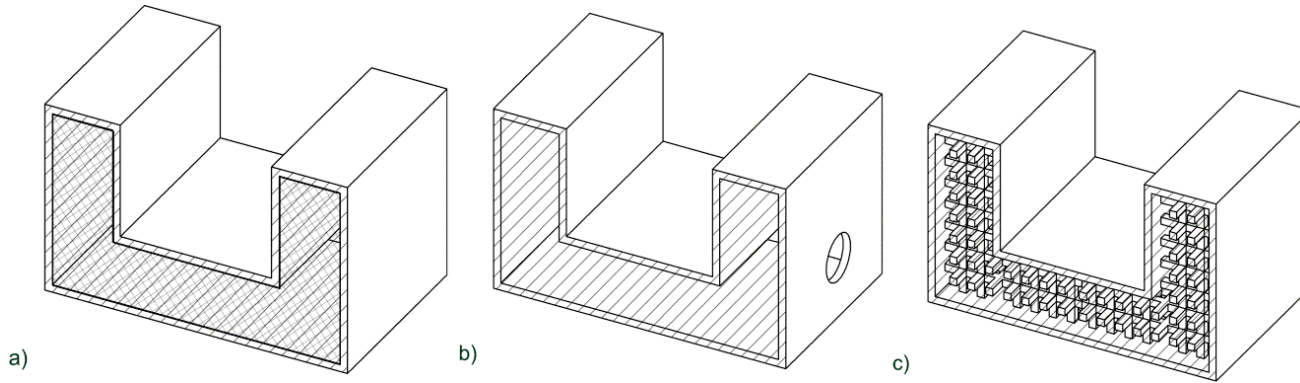
Eventuell wird dadurch auch der Materialverbrauch reduziert.

Hohlräume sollten unter Berücksichtigung der Belastung gestaltet werden.

Zur Versteifung lassen sie sich auch mit Gitter- oder bionischen Strukturen füllen.

- Dies kann z. B. auch für die thermische oder akustische Optimierung genutzt werden.
- Bild 4 zeigt unterschiedliche Konzepte zur Hohlraumgestaltung.

Hohlräume 2



a)

b)

c)

Schematische Darstellung eines Bauteils mit unterschiedlich gestaltetem Hohlraum

a) Pulvergefüllt

b) mit Reinigungsöffnung

c) mit Gitterstruktur

Wanddicke

Die Detailauflösung beim Laser-Sintern von Kunststoffen ist von der Baurichtung abhängig.

Daher ist die Bauteilorientierung im Bauraum geeignet zu wählen.

Parallel zu den Schichten (x,y-Ebene) können geringere Wanddicken realisiert werden als senkrecht dazu (z-Achse).

- Anmerkung: Mit dem Werkstoff PA 12 können in der x,y-Ebene Wandstärken von ca. 0,3 mm und in der z-Achse von ca. 0,5 mm realisiert werden [12].

Wie stabil dünne Wände gebaut werden können, hängt maßgeblich von konstruktiven Maßnahmen ab.

Große Flächen können durch Versteifungen stabilisiert werden.

Spaltmaße

Bei Spalten muss beachtet werden, dass das lose Pulver aus dem Spaltinneren entfernt werden kann.

- Eventuell sind Öffnungen zur Pulverentfernung vorzusehen.

Wie klein Spalte ausgebildet werden können, hängt auch von der Tiefe des Spalts, der umgebenden Geometrie und der Orientierung im Bauraum ab.

- Bei senkrechter Orientierung entlang der z-Achse kann das Spaltmaß enger gewählt werden als parallel zu den Schichten in der x,y-Ebene.



Zylinder und Bohrungen

Ähnlich wie bei den Wandstärken gibt es auch hier zwei grundsätzlich unterschiedliche Orientierungen.

- Zylinder, die achsensymmetrisch zur z-Achse sind, ergeben hinsichtlich der Rundheit und Maßhaltigkeit das beste Ergebnis.
- Bei einer Ausrichtung der Achsensymmetrie in der x,y-Ebene sind die Zylinder mit dem Treppenstufeneffekt behaftet.

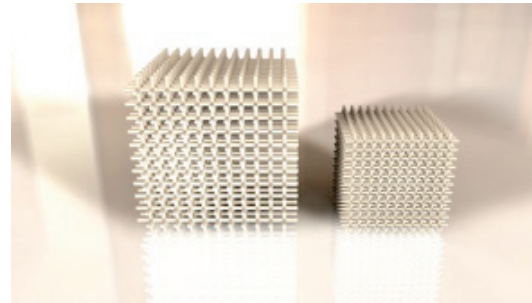
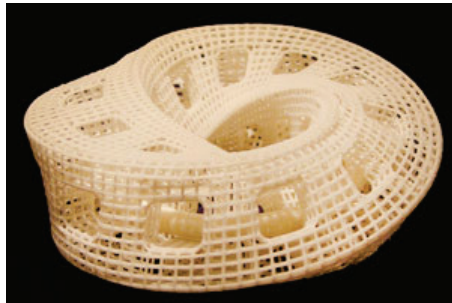
Gitterstrukturen

Gitterstrukturen können beliebig gestaltet werden.

Die dünnste fertigmögliche Geometrie sollte nicht unterschritten werden und wenn gewünscht, muss das lose Pulver entfernt werden können.

Gerade bei feinen Strukturen sind auch die Aufbaurichtung und der damit zusammenhängende Stufeneffekt zu beachten.

Gitterstrukturen können auch in Hohlräumen als Versteifung dienen.



Fluidkanäle

Grundsätzlich lassen sich druckführende Kanäle mittels Laser-Sintern in ein Bauteil integrieren.

Je nach Material ist die Wandstärke auszulegen, damit diese druckdicht ist (beim Werkstoff PA 12 ab ca. 1 mm) und dem anliegenden Druck standhält.

Es bietet sich an, Kanäle an die Fluidodynamik anzupassen.

Die Komplexität, die Länge und der minimale Querschnitt werden durch die Entfernbarekeit des losen Pulvers eingeschränkt.

Ab einem gewissen Querschnitt lassen sich zusätzlich im Kanal „Drähte“ fertigen, die nach dem Bauprozess herausgezogen werden, um den Kanal freizulegen.

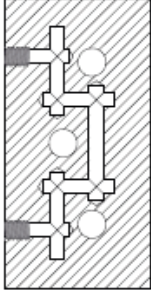
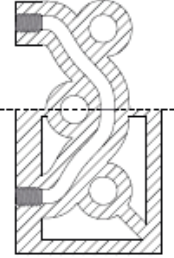
„Tote Winkel“, wie Sacklöcher, sind zu vermeiden, da diese schlecht zu reinigen sind.

Kanäle mit geringem Querschnitt (bei PA 12 wenige Millimeter Durchmesser) lassen sich leichter von losem Pulver reinigen, je weniger Energie eingebracht wurde.

- Praktisch bedeutet das, dass Materialanhäufungen um die Kanäle möglichst zu vermeiden sind.
- Massive Wanddicken sind besser durch Hohlräume zu ersetzen, nötigenfalls mit Versteifungsstrukturen.
- Bild 5 zeigt ein Beispiel, wie das konstruktiv realisiert werden kann.

Fluidkanäle

Gut-schlecht-Beispiel einer Kanalplatte
(links ein Beispiel einer ungeeigneten Konstruktion,
rechts zwei bessere Möglichkeiten)

schlecht	gut
	
<ul style="list-style-type: none"> • massive Bauweise verlängert Bauzeit, neigt zu Verzug, behindert Reinigung der Kanäle • abgewinkelte Kanäle behindern Reinigung • Sacklöcher begünstigen Materialanhaftungen, behindern vollständige Reinigung 	<ul style="list-style-type: none"> • signifikante Material- und Bauzeiteinsparung • vereinfachte Reinigung durch strömungsgünstigen, durchgängigen Kanal • durch dünne Wanddicken bessere Maßhaltigkeit • Versteifungen (Gitterstrukturen) geben Stabilität

Federn, elastische Elemente

Die verschiedenen für das Laser-Sintern verfügbaren Materialien bieten unterschiedliche Möglichkeiten zur Realisierung von federnden oder elastischen Elementen.

Verformbare Elemente sollten nicht ständig in verformtem Zustand sein, da aufgrund der Relaxation der Werkstoffe eine bleibende Formänderung eintritt.

Folgende Elemente sind realisierbar:

- Klassische Spiral- oder Blattfedern können gefertigt werden. Diese müssen entsprechend den Materialeigenschaften des gesinterten Werkstoffs und der Baurichtung ausgelegt werden.
- Mit elastischen Werkstoffen können gummiartige Dämpfungselemente erstellt werden.

Konstruktiv kann die Nachgiebigkeit wie bei jedem anderen Fertigungsverfahren über die Materialdicke und die Formgebung beeinflusst werden (Versteifungsrippen usw.).

Darüber hinaus ist es bei additiver Fertigung möglich, Gitter- oder Wabenstrukturen einzusetzen und die Materialeigenschaften über die Verarbeitungsparameter zu steuern.

Die Härte kann bei nachgiebigen Werkstoffen über die Verarbeitungsparameter beeinflusst werden.

Bei Materialien wie PA 12 hängen die Materialeigenschaften von Prozessparametern wie dem Energieeintrag ab.



Verbindungselemente, Beschläge

Verbindungselemente können bei Laser-Sinter-Bauteilen direkt gefertigt werden. Mit durchdacht konstruierten Verbindungselementen lassen sich Bauteile oft ohne zusätzliche Hilfsmittel miteinander verbinden oder voneinander lösen.

Beispiele für Verbindungselemente sind:

- Gewinde
- Haken
- Ösen
- Schwalbenschwanz
- Stifte
- Schnapphaken
- Spanschloss
- Koffer- oder Taschenverschluss
- Drehverschlüsse
- Druckknöpfe

Die oben genannten Verbindungselemente sind unterschiedlich aufwendig zu realisieren.

Materialabhängige Spaltmaße sind häufig als limitierender Faktor zu berücksichtigen.

Es ist meist besser, die Verbindungen im offenen Zustand zu fertigen, da dann das Spiel in der Verbindung geringer gewählt werden kann.

Es muss darauf geachtet werden, dass sich je nach Materialart und Querschnitt das Dehnvermögen an der Verbindung verändert.

Ist das Bauteil zu spröde oder ist der Querschnitt nicht ausreichend flexibel, kommt es zum Bruch und Versagen des Bauteils.

Hierbei ist die unterschiedliche Bruchdehnung je nach Aufbaurichtung zu beachten.

Statische Baugruppen

Laser-Sintern ist ein ideales Fertigungsverfahren, um Baugruppen fertig montiert herzustellen.

Bei statischen Baugruppen unterscheidet sich die Vorgehensweise abhängig davon, ob die mechanischen Eigenschaften innerhalb der Baugruppe identisch sein sollen oder nicht.

Im ersten Fall werden die gleichen Belichtungsparameter verwendet, im zweiten unterschiedliche.

Hierbei gilt:

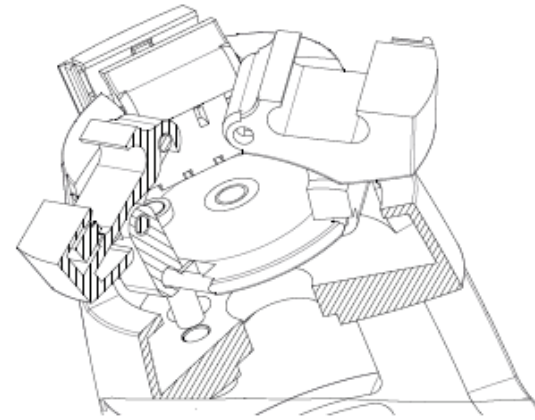
- Werden alle Komponenten einer Baugruppe im zusammengebauten Zustand mit denselben Belichtungsparametern gefertigt, kann es sinnvoll sein, vorhandene, modular konstruierte Komponenten im CAD zu einem Bauteil zusammenzufassen. So können Fertigungsfehler an den gemeinsamen Flächen durch Doppelbelichtung o. Ä. vermieden werden.
- Sind unterschiedliche Bereiche eines Teils mit unterschiedlichen Materialeigenschaften zu versehen, also unterschiedliche Belichtungsparameter zu verwenden, so muss man diese einzelnen Elemente als eigenes Teil gestalten.
- Während der digitalen Prozessvorbereitung muss man die Elemente in der richtigen Lage zueinander positionieren (ähnlich zu Mehrkomponentenspritzguss).
- So können z. B. verschiedene Steifigkeiten erreicht werden.

Bewegliche Baugruppen

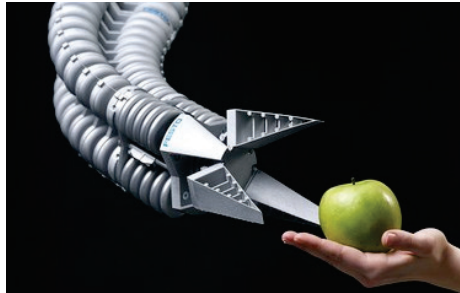
Baugruppen können zur Montagereduktion genutzt werden. Dadurch lassen sich auch sonst nicht montierbare Bauteile herstellen.

Sollen die einzelnen Baugruppen zueinander beweglich sein, so ist ein ausreichend großer Spalt an deren Grenzen vorzusehen.

Das Bild zeigt als Beispiel einen Greifer, der mit dem Laser-Sintern hergestellt werden kann.



Als bewegliche Baugruppe aufgebauter Drei-Backen-Greifer



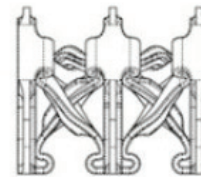
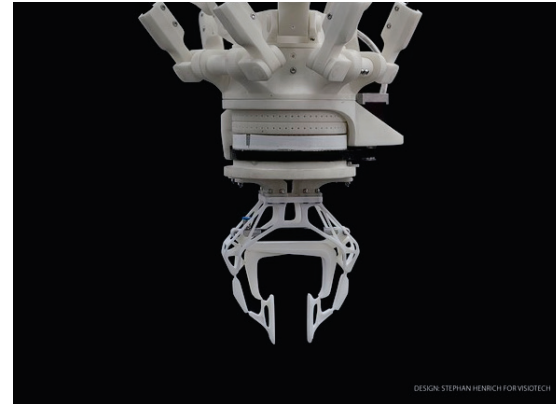
Bauteilintegration

Additive Fertigung beim Laser-Sintern ermöglicht die Herstellung von integrierten Bauteilen und von Baugruppen, ohne diese nachträglich zu einer Baugruppe montieren zu müssen.

Die Verbindungselemente werden hierbei mitaufgebaut. Dabei müssen fertigungstechnische Besonderheiten beachtet werden.

Gerade im Hinblick auf Kosteneinsparungen bei Zusammenbau und Montage und bei der Nutzung neuer konstruktiver Möglichkeiten lohnt sich die Beachtung additiver Designaspekte.

Die folgenden technologischen Besonderheiten gilt es zu beachten.



Lager

Es lassen sich Gleit- wie Wälzlagerfunktionen an Stellen der Baugruppe realisieren, die mit herkömmlichen Ansätzen nur unter erheblichem Aufwand möglich waren.

Je nach Anforderungen an Einsatzzweck, Abnutzung und Kräfteinwirkung kann ein voll- oder teilintegrierter Ansatz verfolgt werden:

- Beim vollintegrierten Wälzlager werden die Wälzkörper, beispielsweise Kugeln, aus dem gleichen Werkstoff mitgebaut. Hierbei haben die Lager ein recht großes Spiel und einen stärkeren Verschleiß.
- Beim teilintegriertem Wälzlager werden die Wälzkörper nachträglich – etwa aus einem keramischen Material – eingesetzt. Die Gründe dafür sind geringere Reibung, bessere mechanische Belastbarkeit und ein engeres Spiel.

Bei beiden Varianten muss die spätere Pulverentfernung über ausreichend dimensionierte Öffnungen und durch die Vermeidung von Sacklöchern und ähnlichen Konstruktionsfehlern gegeben sein.

Beim teilintegriertem Ansatz dient die einzuplanende Öffnung zum Einsetzen der Wälzkörper auch der vorherigen Pulverentfernung.

Eine einfache Zugänglichkeit zum späteren Einsetzen oder Austausch der Wälzkörper muss eingeplant werden.

Anmerkung: Radiallager sollten bei der Fertigung vorzugsweise mit der Achse parallel zur Aufbaurichtung aufgebaut werden.



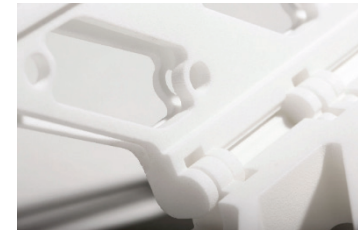
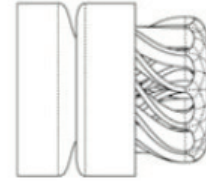
Gelenke

Gelenke lassen sich in einem Stück bauen, ohne diese montieren zu müssen. Neben der höheren Reibung zwischen den beweglichen Elementen und dem fertigungstechnisch zu berücksichtigenden größeren Spaltmaß muss die Pulverentfernung beachtet werden.

Voll umschließende Gelenkpfannen sind schwer zu realisieren und können durch selektive Aussparungen in der umschließenden Kontur (Schale oder Gelenkpfanne) realisierbar angenähert werden.

Über integrierte Funktionselemente wie Federn, Nuten, Stifte und Kanäle werden zusätzliche Funktionen wie Rast-, Halte- und Stoppositionen möglich. Auch Filmscharniere lassen sich über Laser-Sintern realisieren.

Durch eine konstruktive Anpassung der Wandstärke in seiner Form, Durchgängigkeit, Verjüngung (alternierende Wandstärke) und Aussteifung lässt sich die Lebensdauer erhöhen und die Funktion erweitern.



Integrierte Kennzeichnung

Kennzeichnungen können vorab auf dem Bauteil gestaltet werden.

Grundsätzlich können Kennzeichnungen aller Art, ob erhaben oder vertieft, hergestellt werden.

Bei der Wahl der Schriftart und Schriftgröße von Beschriftungen soll auf die Lesbarkeit geachtet werden.

Kennzeichnungen können verwendet werden für:

- Beschriftung allgemein und für Warn- und Sicherheitshinweise
- Symbole zur Montageerleichterung
- Typenschilder mit individueller Seriennummer
- Designelemente
- Logos
- Texturen



Schneiden und Fügen

Falls Bauteile zu groß für den vorhandenen Bauraum sind, können diese geteilt gebaut und nachträglich gefügt werden.

Ein Bauteil wird hierfür in den CAD-Daten in mehrere Einzelteile aufgeteilt.

Die gefertigten Einzelteile werden nachträglich wieder mechanisch verbunden.

In der einfachsten Variante kann die Aufteilung als Schnitt ausgeführt werden.

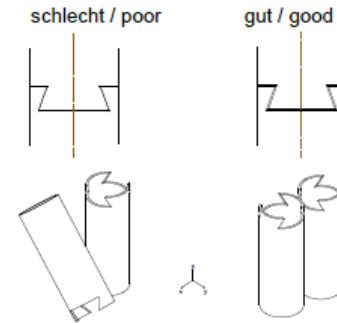
- Es ist allerdings eine Verbindung über einen Schwalbenschwanz zu empfehlen, da dieser die richtige Orientierung der Bauteile zueinander gewährleistet und die Festigkeit der Verbindung erhöht.

Das Fügen selbst wird üblicherweise durch Verkleben realisiert.

- Es können aber auch Schraubverbindungen oder Ähnliches vorgesehen werden, um die mechanischen Anforderungen der Fügestelle zu erfüllen.

Wichtig bei der Konstruktion der Fügenaht ist ein Spalt (ca. 0,1 mm) zwischen den beiden Hälften, um ein problemloses Fügen und Verkleben zu gewährleisten.

Weiterhin sollten die Fügstellen der beiden Bauteile möglichst in der gleichen Orientierung wie auch am gleichen Ort im Bauraum platziert werden, um eine Form- und Maßabweichung gering zu halten.



Anordnung von geteilten Bauteilen



Design für die Additive Fertigung

Design für die Additive Fertigung 2021 - 05

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

