



**MASTER-MODULPRÜFUNG
Musterlösung „Additive Fertigung“**

Prüfer: Prof. Dr.-Ing. S. Weihe

Datum: 15.02.2019	Bearbeitungszeit: 60 Minuten
Hilfsmittel: - keine	

Name:	Matrikelnummer:	Unterschrift:

VIEL ERFOLG!

Aufgabe 1: (3 Punkte)

In Abbildung 1 ist schematisch der Prozess des selektiven Laserschmelzens dargestellt. Tragen Sie in die Tabelle die korrekten Fachbegriffe für die dargestellten Bestandteile A – F ein:

A:	<i>Schichtdicke</i>
B:	<i>Spurabstand</i>
C:	<i>Laserstrahl</i>
D:	<i>unverschmolzenes Pulver</i>
E:	<i>Bauteil / gefertigtes Material</i>
F:	<i>Bauplatte</i>

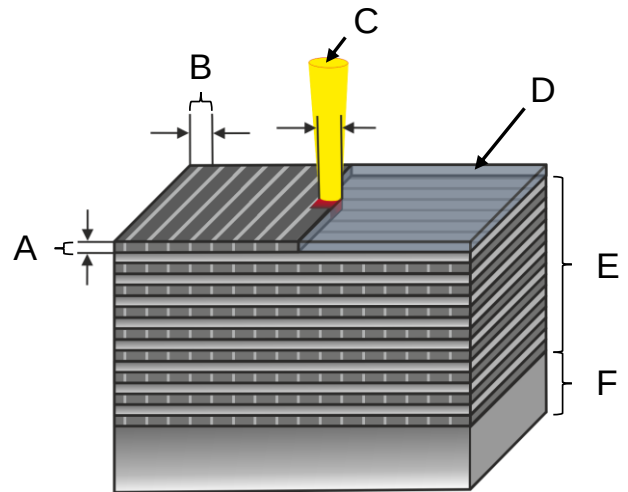


Abbildung 1: Schematische Prozessdarstellung

Aufgabe 2: (2 Punkte)

Nennen Sie 4 mögliche gesundheitliche Gefahren beim Laser-Strahlschmelzen von Metallpulvern für die Additive Fertigung.

Brand- und Explosionsgefahr (Pulver, Gase)
Vergiftungs- und Erstickungsgefahr (Gase)
Schädigender Einfluss der Pulverwerkstoffe, Kondensate und Schweißrauch auf Lebewesen (Pulver: Lungengängigkeit, Karzinogenität)
Verbrennungsgefahr
Rutschgefahr (Pulver)
Gefahr durch Laserstrahlung

Aufgabe 3: (2 Punkte)

Bei der Verwendung von Metallpulvern für die Additive Fertigung wird empfohlen, gegebenenfalls eine Trocknung des Pulvers vor der Verwendung durchzuführen. Begründet wird dies damit, dass der Feuchtigkeitsgehalt die Fließfähigkeit des Pulvers beeinflusst und den Eintrag von Wasserstoff im Werkstoff erhöht. Erklären Sie, weshalb diese beiden Effekte unerwünscht sind:

Wasserstoffeintrag:

*Porenbildung durch Gaseinschluss
Wasserstoffversprödung, (Kalt-) Rissbildung*

Veränderte Fließfähigkeit:

Prozesssicherheit gefährdet, keine gleichmäßige Befüllung der Baukammer mit Pulver, Gefahr von Hohlräumen, Bindefehlern, VDI 3405 Blatt 2.3

Aufgabe 4: (3 Punkte)

Als Vorteil der pulverbasierten Additiven Fertigung wird häufig die konstruktive Freiheit gesehen. Dennoch unterliegen additiv gefertigte Bauteile auch konstruktiven Restriktionen, die prozessbedingt sind. Nennen Sie zwei dieser konstruktiven Restriktionen und erklären Sie deren Auftreten:

konstruktive Restriktion	Erklärung des Auftretens
<i>Treffenstufeneffekt</i> <i>pulvergefüllte Hohlräume</i> <i>Keine beliebigen Überhänge ohne Stützstruktur</i>	<i>Schichtweiser Aufbau mit endlich kleiner Schichtdicke</i> <i>Arbeit mit Pulverbett</i> <i>Material benötigt Stütze, sonst Problem mit Schwerkraft</i>
<i>Minimale Spaltbreite</i> <i>Minimale Wandstärke</i>	<i>Bei zu kleiner Spaltbreite verbinden sich gegenüberliegende Wände</i> <i>Der Laserstrahl kann nicht unendlich klein gewählt werden</i>

Aufgabe 5: (2 Punkte)

In additiv hergestellten Bauteilen können fertigungsbedingt Eigenspannungen auftreten. Nennen Sie zwei Gründe, warum Eigenspannungen in der Regel unerwünscht sind.

Eigenspannungen führen zu Bauteilverzug

Eigenspannungen können sich mit Betriebslasten überlagern und zum vorzeitigen Versagen führen

Aufgabe 6: (2 Punkte)

Stützstrukturen haben bei der laseradditiven Fertigung zwei wichtige Aufgaben. Benennen und erklären Sie diese Aufgaben.

Räumliche Fixierung des Bauteils: Unterstützung von Überhängen, Verhinderung des Aufwölbens

Thermische Anbindung an die Bauplatte zur verbesserten Wärmeableitung

Aufgabe 7: (3 Punkte)

Sie schicken an drei verschiedene Betreiber von selektiven Laserschmelzanlagen dieselbe CAD-Datei einer Zugprobe und lassen sich jeweils 10 Proben aus dem Werkstoff AlSi10Mg herstellen. Anschließend führen Sie mit allen Proben eine Zugprüfung durch und stellen fest, dass die Festigkeitswerte der Proben insbesondere zwischen den verschiedenen Herstellern stark variieren.

Nennen und erläutern Sie 3 mögliche Gründe, warum die Festigkeitseigenschaften bei verschiedenen Herstellern variieren können.

Nicht exakt dasselbe Pulver verwendet, Pulver kann Einfluss auf Festigkeit haben.

Nicht dieselbe Maschine (Hersteller) verwendet, ggf. andere Prozessparameter

Nicht dieselben Prozessparameter verwendet, Prozessparameter haben Einfluss

Nicht dieselbe Bauraumorientierung verwendet, Bauraumorientierung hat Einfluss auf Festigkeit

Anderes Schutzgas, Allgemeine Prozessunsicherheit, Verschmutztes Laserschutzglas, Weiter sinnvolle Nennungen mit Erklärung möglich

Aufgabe 8: (3 Punkte)

Nennen Sie 3 Qualitätssicherungsmaßnahmen, die zur Sicherstellung einer gleichbleibenden Produktqualität bei der Additiven Fertigung beitragen können und erklären Sie jeweils kurz die Funktion dieser Methode.

Prozess-Monitoring: Überwachung verschiedener Prozessgrößen, um konstante Prozessbedingungen zu garantieren

Pulvermanagement: Überwachung des Pulverzustandes und ggf. Sieben oder Trocknen

Trockene Lagerung von Pulver bzw. Kunststofffilament: Feuchtigkeit ändert Fließfähigkeit oder führt zu Werkstofffehlern

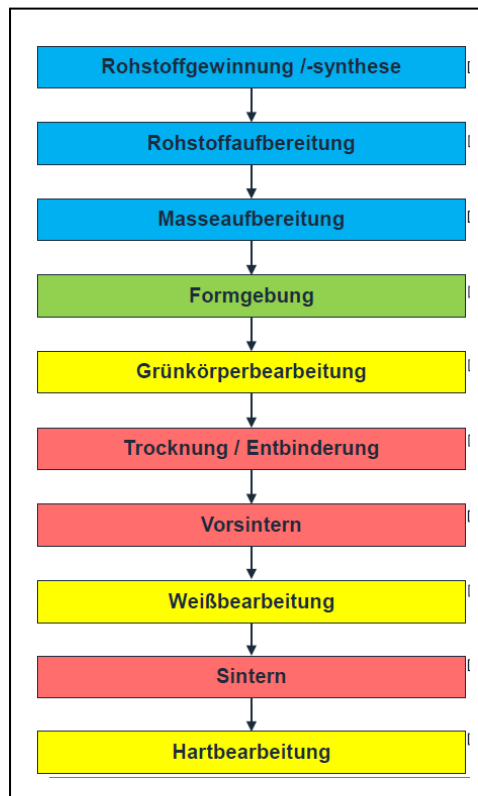
ZFP: Computertomographie: Beurteilung, ob fehlerbehaftete Bauteile vorliegen

Begleitproben: Überprüfung der mechanischen Eigenschaften, Information über mögliche Prozessunsicherheit

Dichtewürfel: Überwachung der Materialdichte für die verwendeten Prozessparameter, Information über mögliche Prozessunsicherheit

Aufgabe 9: (5,5 Punkte)

Skizzieren Sie die Fertigungskette zur Herstellung keramischer Bauteile. Welcher Prozessschritt kann durch Additive Fertigungsverfahren reduziert oder gar eliminiert werden und warum?



Hartbearbeitung, da AM Verfahren near-net-shape

Aufgabe 10: (1 Punkt)

Hochgefüllte thermoplastische Kunststoffe für das FDC führen oft zur Versprödung des Filaments. Welchen Extrudertyp zur Formgebung müssen Sie verwenden, welcher ist ungeeignet?

Geeignet: Direct Extruder

Ungeeignet: Bowden Extruder

Aufgabe 11: (2 Punkte)

Für das Binder Jetting Verfahren werden besonders aufbereitete Pulver benötigt, die Anforderungen an das Pulver sind zum Teil widersprüchlich. Nennen Sie je zwei Eigenschaften von Keramikschlickern oder -pulvern, welche es ermöglichen, die unten stehenden Anforderungen zu erfüllen:

Gute Fließfähigkeit des Pulvers durch...:

Runde Partikel, Mindestgröße etwa 40 μm , monomodale Partikelverteilung, geringe Oberflächenwechselwirkung

Hohe Grünkörperfestigkeit durch...:

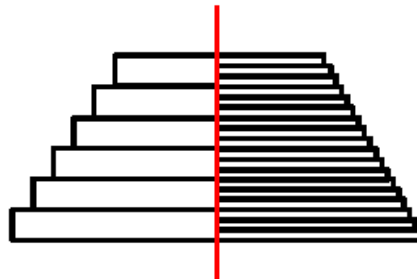
Feine Partikel, gebrochene Partikelmorphologie, bi- multimodal verteilte Partikelgrößen, hoher Bindergehalt

Aufgabe 12: (2 Punkte)

Erklären und skizzieren Sie kurz den Begriff „Treppenstufeneffekt“. Wodurch wird er verstärkt?

Versatz der Schichten in z-Richtung.

Nimmt mit Schichtstärke zu.



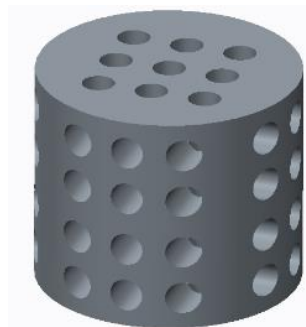
Aufgabe 13: (1 Punkt)

Ein Zugstab soll additiv gefertigt werden. Wie orientieren Sie den Zugstab im Bauraum (in welcher Ebene liegt die Längsachse) für maximale Festigkeit? Begründen Sie Ihre Entscheidung kurz:

Längsachse in x-y Ebene. Festigkeit ist innerhalb der Schichten höher als senkrecht dazu.

Aufgabe 14: (1,5 Punkte)

Gegeben ist das CAD-Modell eines keramischen Bauteils, das mittels Binder Jetting gefertigt worden ist. Beschreiben Sie die notwendigen Post-Processing Schritte, d.h. die Tätigkeiten unmittelbar nach dem Druckvorgang:



Entpulvern

Entbindern

Sintern

Aufgabe 15: (2,5 Punkte)

Nennen Sie ein Additives Fertigungsverfahren, welches zu Keramikbauteilen mit hoher Oberflächengüte führt. Nennen Sie je zwei weitere Vor- und Nachteile des Verfahrens:

LCM, hohe Gründichte, geringe Schichtstärken möglich, theoretisch jedes sinterfähige Material verarbeitbar, Verarbeitung bei Raumtemperatur, Schlicker recycelbar; lange Prozesszeiten, Nacharbeit erforderlich, Stützstrukturen notwendig, UV-Sensitivität des Schlickers,

NPJ, hohe Gründichte, geringe Schichtstärken möglich, sehr hohes Auflösungsvermögen, Stützstrukturen erforderlich, mehrere Materialsysteme gleichzeitig verarbeitbar; teure Anlagentechnik, bisher geringe Materialauswahl, lange Prozesszeiten

Aufgabe 16: (3,5 Punkte)

Die keramische Massenfertigung komplex geformter Bauteile, beispielsweise für Hüftgelenksimplantate, setzt einen mehrstufigen Formgebungsprozess voraus. Beschreiben Sie diesen kurz, ausgehend vom mischgemahlenen Pulver. Nennen Sie zwei Gründe, warum diese hochfesten Bauteile nicht (sinnvoll) mittels Binder Jetting Verfahren gefertigt werden können:

Sprühgranulation, dann Axialpressen keramischer Zylinder, anschließende Zerspanung, Entbindern und Sintern, nachhippen um Porosität zu eliminieren. Nicht mittels Binder Jetting sinnvoll, da AM für Massenfertigung des gleichen Bauteils ungeeignet und Gründichte zu gering, Defekte.

Aufgabe 17: (1 Punkt)

Standard-Messingdüsen verschleißten während des FDC rapide. Nennen Sie zwei marktübliche Düsenmodifikationen, die eine längere Standzeit der Düsen ermöglichen:

Beschichtete Düsen, Gehärtete Düsen, Rubin/Diamanteinsatz

Aufgabe 18: (2 Punkte)

Gegeben ist die Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580. Geben Sie zwei Hauptgruppen an, unter welche die Additive Fertigung fällt und nennen Sie jeweils ein Beispielfertigungsverfahren.

Schaffen der Form	Ändern der Form				Ändern der Stoffeigenschaften
Zusammenhalt schaffen	Zusammenhalt beibehalten	Zusammenhalt vermindern	Zusammenhalt vermehren		Hauptgruppe 6 Stoffeigen-schaftändern
Hauptgruppe 1 Urformen	Hauptgruppe 2 Umformen	Hauptgruppe 3 Trennen	Hauptgruppe 4 Fügen	Hauptgruppe 5 Beschichten	

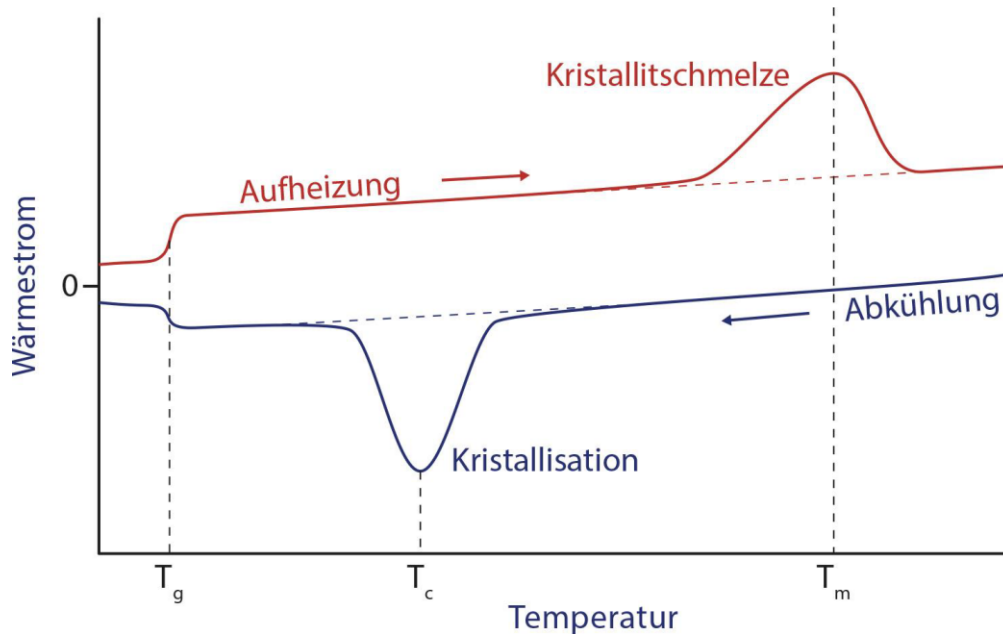
Hauptgruppe 1: SLA, CLIP, DLP...

Hauptgruppe 4: Strangablegeverfahren, SLS, SLM,...

Hauptgruppe 5:

Aufgabe 19: (2 Punkte)

Zeichnen Sie das Zielfenster der Bauraumtemperatur beim SLS-Verfahren in die vorliegende DSC-Kurve ein. Begründen Sie ihre Entscheidung.



Prozessfenster liegt zwischen den beiden den Peaks. Innerhalb des Zielfenstern kann der Kunststoff sowohl in der flüssigen als auch festen Phase vorliegen. Außerhalb des Prozessfensters tritt Kristallisationsschwindung ein die den Druckprozess in der Temperaturführung und in Form von Schwindung beeinflussen kann.

Aufgabe 20: (1 Punkt)

Geben Sie jeweils ein Hauptmerkmal für das Strangablegeverfahren und die Stereolithographie hinsichtlich der Materialauswahl an.

SLA: UV-härtende Materialien oder flüssiges Ausgangsmaterial

Strangablegeverfahren: Thermoplaste (hauptsächlich amorphe Thermoplaste) oder Material liegt in Filamenten vor

Aufgabe 21: (2 Punkte)

Nennen Sie vier Einsatzgebiete in denen es sinnvoll ist, Additive Fertigung von Kunststoffbauteilen einzusetzen.

Prototypenbau, Ersatzteile, Personalisierte Bauteile

Komplexe Bauteilfertigung, die ohne AM nicht möglich ist

Aufgabe 22: (2 Punkte)

Erklären Sie den Unterschied zwischen Schwindung und Schrumpf.

Schwindung beschreibt die volumetrische Abnahme eines Kunstoffs, verursacht durch eine thermische Kontraktion sowie eine dichtere Molekülanordnung während des Erstarrens (z. B. beim Kristallisieren eines Thermoplastes oder während der Vernetzung eines Duromeren).

Schrumpf geschieht ausschließlich durch Rückstellung von Orientierungen. Die Form mag dadurch geändert werden, nicht aber das Volumen.

Aufgabe 23: (3 Punkte)

Beschreiben Sie, wie die Auswahl des Verarbeitungsprozesses/-verfahrens zur Herstellung eines Kunststoffbauteils von der Produktionsmenge beeinflusst wird. Gehen Sie hierbei auf drei unterschiedliche Produktionsmengen (qualitativ) ein und nennen ein für die Produktionsmenge idealen Verarbeitungsprozess. Eines der beschriebenen Verfahren soll ein Additives Fertigungsverfahren sein.

SLS: Geringe Produktionsmenge (einige Musterteile)

Spritzgießen mit einfach-Werkzeug: hohe Stückzahl durch schnellen Prozess

Spritzgießen mit zweifach-Werkzeug: weitere Steigerung der Produktivität und Wirtschaftlichkeit durch Verringerung der Abkühlzeiten.

Aufgabe 24: (2 Punkte)

Nennen Sie ein Bauteil, das mit einem konventionellen Kunststoffverarbeitungsverfahren nicht, oder nur sehr schwer, gefertigt werden kann. Warum kann es mit Additiven Fertigungsverfahren gefertigt werden? Geben Sie ein hierfür geeignetes Verfahren an?

Bauteil mit vielen Hinterschneidungen. Fertigung mit Schiebern bei hoher Komplexität nicht möglich.

z.B. Prototypsitz von Toyota (SLS) oder Schuhsohlen von Adidas (CLIP)

Aufgabe 25: (1 Punkt)

Kann nicht aufgeschmolzenes Kunststoffpulver aus dem Druckprozess (Pulverkuchen, der im Anschluss vom eigentlichen Bauteil getrennt wird) bedenkenlos wiederverwendet werden? Begründen Sie ihre Aussage.

Nein, Altpulver degradiert durch den thermischen Prozess. Wiederverwertung resultiert in schwankender Bauteilqualität. Das Pulver wird aus wirtschaftlichen Gründen trotzdem wiederverwendet. (Meistens in einer 50/50 Mischung von Alt- und Neupulver.)

Aufgabe 26: (1 Punkt)

Weshalb kann bei dem Continuous Liquid Interface Production (CLIP™) Verfahren ein kontinuierlicher Prozessablauf stattfinden?

Die Aushärtung des Harzes wird in einer sogenannten Ruhezone durch Sauerstoffzufuhr unterbunden. Innerhalb dieser Zone kann in einem kontinuierlichen Druckprozess das flüssige Monomer nachströmen und außerhalb der Ruhezone unter der UV-Bestrahlung aushärten.

Aufgabe 27: (1 Punkt)

Nennen Sie zwei Unterschiede zwischen einem Monomer und einem Polymer.

Monomer: Grundeinheit, niedermolekular, reaktionsfähig, funktionelle Gruppen oder Doppelbindungen

Polymer: >1000 Struktureinheiten

Aufgabe 28: (3 Punkte)

Skizzieren Sie die Zugfestigkeit eines amorphen und eines teilkristallinen Thermoplasten und markieren sie den jeweiligen Einsatztemperaturbereich der beiden Thermoplaste.

