

ENTSCHEIDUNGSHILFE

für Unternehmen

für die Auswahl und den Einsatz additiver Fertigungstechnologien in
der Verpackungsherstellung



Institut für Verpackungstechnik (IfV) des VVL e. V.

IGF-Nr. 19405 N

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das Vorhaben wurde betreut von:

Forschungsnetzwerk
Mittelstand



Deutscher Forschungsverbund
Verpackungs- Entsorgungs- und
Umwelttechnik e. V. Hamburg

**Steigerung der Flexibilität und Wirtschaftlichkeit der Verpackungslogistik durch den Ein-
satz additiver Fertigungsverfahren (Verpack3D)**

Das IGF-Vorhaben 19405 N der Forschungsvereinigung Deutscher Forschungsverbund Verpackungs-, Entsorgungs- und *Umwelttechnik* e.V., Hamburg wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.



Mit dem Projektvorhaben beauftragte Forschungsstelle:

**Institut für Verpackungstechnik (IfV) des
Vereins zur Förderung innovativer Verfahren in der Logistik (VVL) e. V.
Giselherstr. 34, 44319 Dortmund**

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einführung	4
2	Besonderheiten additiver Fertigungsverfahren	6
2.1	Fused Deposition Modelling (FDM) / Fused Layer Manufacturing (FLM)	6
2.1.1	Konstruktion	6
2.1.2	Material	7
2.1.3	Nachbearbeitung	7
2.2	Laser-Sinter-Verfahren (SLS)	9
2.2.1	Konstruktion	9
2.2.2	Material	9
2.2.3	Nachbearbeitung	10
2.2.4	Sonstiges	10
2.3	Layer-Laminated-Manufacturing (LLM)	11
2.3.1	Konstruktion	11
2.3.2	Material	11
2.3.3	Nachbearbeitung	11
2.4	Pulver-Binder-Verfahren	13
2.4.1	Konstruktion	13
2.4.2	Material	13
2.4.3	Nachbearbeitung	14
2.4.4	Sonstiges	14
2.5	Stereolithografie-Verfahren (SLA)	15
2.5.1	Konstruktion	16
2.5.2	Material	17
2.5.3	Nachbearbeitung	17
3	Entscheidungskriterien	19
3.1	Produktmerkmale, die einen Einsatz der additiven Fertigung rechtfertigen	19
3.2	Ausschlusskriterien für den Einsatz additiver Fertigungsverfahren	19
3.3	Wirtschaftliche Kriterien zur Bewertung der additiven Fertigung	20
3.3.1	Fertigungsgeschwindigkeit	20
3.3.2	Nachbearbeitung	20
3.3.3	Herstellerabhängigkeit bei der Materialauswahl	21

1 Einführung

Das Institut für Verpackungstechnik (IfV) des Vereins zur Förderung innovativer Verfahren in der Logistik (VVL) e. V. in Dortmund befasst sich bereits seit seiner Gründung in den 1980er Jahren mit der Entwicklung innovativer Projekte in den unterschiedlichsten Bereichen der Verpackungsbranche. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Bearbeitung von mit öffentlichen Mitteln geförderten Forschungsprojekten, die stets in Kooperation mit Unternehmen – die größtenteils dem Bereich der kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) zuzurechnen sind – durchgeführt werden und so zugleich innovativ und praxisorientiert sind.

Die vorliegende Entscheidungshilfe für die Auswahl und den Einsatz additiver Fertigungstechnologien in der Verpackungsherstellung stellt eine Ergänzung zum Schlussbericht des unter gleichem Titel vom 01.03.2017 bis zum 30.06.2019 vom IfV bearbeiteten Forschungs- und Entwicklungsprojekts dar, das aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) im Rahmen des Programms der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) unter der Nummer 19405 N über den Deutschen Forschungsverein Verpackungs-, Entsorgungs- und Umwelttechnik (DVEU) e. V., Hamburg gefördert wurde.

Rückblickend ist die vorliegende Entscheidungshilfe teilweise bereits mit Drucklegung veraltet, da das Thema des Vorhabens bereits 2016 beantragt und zu diesem Zeitpunkt auf der Basis einer völlig anderen technischen Entwicklungsstufe additiver Fertigungssysteme erstellt wurde. Deshalb darf die Beurteilung sowohl des Schlussberichts als auch des Leitfadens nicht mit dem heutigen Erkenntnisstand erfolgen, sondern muss die in diesem Bereich rasante Entwicklung berücksichtigen, die auch nach Abschluss des Vorhabens stetig vorangeschritten und auch weiterhin zu beobachten ist.

Die Entscheidungshilfe zeigt für die Unternehmen die besonderen Eigenschaften und Anforderungen der betrachteten additiven Fertigungsverfahren im Hinblick auf einen Einsatz zur Verpackungsherstellung auf. Hierzu werden die zu berücksichtigenden Besonderheiten der Verfahren zu Material, Konstruktion und notwendigen Nachbearbeitungsschritten dargestellt.

Im Anschluss daran wird ein – aufgrund des weitläufigen und inhomogenen Felds der Verpackungsherstellung – allgemein gehaltener Katalog an Verpackungseigenschaften aufgeführt, anhand dessen Unternehmen erkennen können, ob für die von ihnen zu bewertende Verpackung der Einsatz additiver Fertigungsverfahren näher ins Auge gefasst werden sollte.

Zusätzlich werden noch Unterschiede der additiven Fertigungsverfahren gegenüber den bislang klassischen Verfahren aufgelistet, was interessierten Unternehmen dabei helfen soll,

ggf. leicht zu übersehende Aspekte in der Beurteilung der Eignung der additiven Fertigungsverfahren mit zu berücksichtigen.

Im Rahmen des o. g. Projekts wurden das Fused Deposition-Modeling-Verfahren (FDM) und das Stereolithografie-Verfahren (SLA) detailliert untersucht, weshalb hierzu die besten Aussagen getroffen werden können. Der Vollständigkeit halber werden auch noch das Lasersinter-Verfahren (SLS), das Layer-Laminated-Manufacturing-Verfahren (LLM) und das Pulver-Binder-Verfahren aufgeführt. Die Aussagen zu diesen Verfahren bezüglich der Eignung für einen Einsatz in der Verpackungsherstellung sind jedoch nicht durch konkrete Untersuchungsergebnisse aus dem Forschungsvorhaben gedeckt und basieren daher nur auf im Projekt durchgeführten Literaturrecherchen.

2 Besonderheiten additiver Fertigungsverfahren

Im Folgenden werden die beim Einsatz der unterschiedlichen additiven Fertigungsverfahren zu berücksichtigenden Besonderheiten dargestellt. Dies soll die Entscheidungsfindung, ob das entsprechende Verfahren für den vorgesehenen Einsatz geeignet ist, vereinfachen.

2.1 Fused Deposition Modelling (FDM) / Fused Layer Manufacturing (FLM)

Bei diesem Verfahren werden entweder vorgefertigtes Filament oder Granulat (unter Einsatz eines zusätzlichen Extruders) aus einem thermoplastischen Werkstoff aufgeschmolzen und anschließend schichtweise zu einem Modell aufgetragen. Hierbei verschmelzen die Schichten.

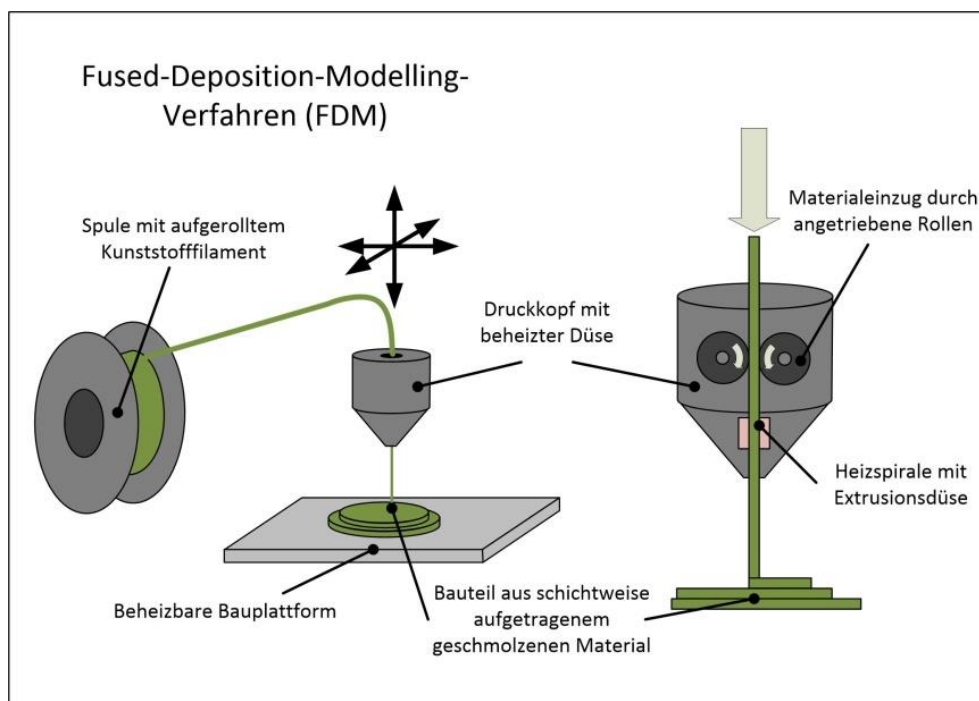


Abbildung 1: Prinzipdarstellung des FDM-Verfahrens

2.1.1 Konstruktion

Das Modell sollte entlang einer Ebene konstruiert sein, die gleichzeitig als aufliegende Fläche beim Druckprozess dient. Ein schräg im Raum orientiertes Modell setzt den Druck von Stützstruktur voraus.

Die Herstellung langer und „flach“ über die Druckebene hinausragender Überhänge setzt ebenfalls den Einsatz von Stützstruktur voraus.

In den meisten Sliceprogrammen kann eingestellt werden, ab welchem Winkel und welcher Größe eines Überhangs Stützmaterial gedruckt werden soll. Fehlendes Stützmaterial kann jedoch zu einer Verformung des Druckobjekts und einem Fehldruck führen.

Die Herstellung von Hohlkörpern mit vollständig geschlossener Oberfläche ist möglich. Hierbei können die Art und der Volumenanteil der ggf. notwendigen Füllstruktur vom Anwender gewählt werden.

Die Fertigung von Modellen aus unterschiedlichen Materialien (Farben, mechanische/chemische Eigenschaften) ist durch den Einsatz eines 3D-Druckers mit mehreren Druckköpfen möglich.

Der Einsatz mehrerer Druckköpfe ermöglicht die Verwendung von löslichem Stützmaterial.

2.1.2 Material

Ein Objekt kann bei diesem Verfahren aus mehreren unterschiedlichen Materialien gefertigt werden. Voraussetzung ist die Verwendung eines Geräts mit mehreren Druckköpfen.

Als Material können theoretisch alle thermoplastischen Werkstoffe eingesetzt werden. Darüber hinaus besteht auch die Möglichkeit, Werkstoffe zu verwenden, die im flüssigen/zähflüssigen Zustand verarbeitet werden können und die sich – ggf. durch Trocknung oder sonstige Aktivierung – schnell ver härten.

Im Fall von Kunststoffen ist der Einsatz von vorkonfektioniertem Filament auf Spulen die Regel, da hier die Durchflussmenge und die gleichmäßige Qualität des Werkstoffs am besten kontrolliert werden können.

Durch die Verwendung eines Extruders kann auch direkt Kunststoffgranulat verwendet werden. Dies ist bei empfehlenswert, wenn große Mengen an Material verarbeitet werden sollen, da das Filament in der Regel deutlich teurer ist. Nicht für das Endprodukt benötigtes Material (bspw. das Stützmaterial) kann in diesem Fall wieder zu Granulat verarbeitet und neu genutzt werden.

Bei Einsatz eines 3D-Druckers mit mindestens zwei Druckköpfen kann Stützmaterial verwendet werden, das löslich ist (wasserlöslich oder mit einem speziellen Lösungsmittel). Die Kosten für derartiges Material liegen in der Regel höher als für den „normalen“ Werkstoff.

Für eine chemische Glättung der Oberfläche des gedruckten Objekts werden entsprechende Lösungsmittel benötigt (z. B. Ethanol).

2.1.3 Nachbearbeitung

Eventuell vorhandenes Stützmaterial muss entfernt werden. Dies kann sowohl manuell, als auch automatisiert erfolgen.

Bei der Verwendung von Stützmaterial aus nichtlöslichem Material ist eine mechanische Entfernung notwendig. Diese muss in der Regel manuell erfolgen. Eine automatisierte Entfernung ist theoretisch möglich, erfordert jedoch entsprechende Maschinen (CNC, Roboter).

Bei der mechanischen Entfernung muss auf die thermoplastischen Eigenschaften des verwendeten Materials Rücksicht genommen werden, da dieses durch die auftretende Erwärmung wieder aufschmelzen kann.

Bei der Verwendung von Stützmaterial aus löslichem Material ist eine automatisierte Nachbearbeitung möglich. Hierzu können entsprechende Waschautomaten eingesetzt werden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass das verwendete Stützmaterial verloren geht.

Zur Verbesserung der Oberflächenqualität (Glättung der Oberfläche) können die gedruckten Objekte entweder mechanisch geglättet oder alternativ einem Dampfbad aus Lösungsmittel ausgesetzt werden.

2.2 Laser-Sinter-Verfahren (SLS)

Bei diesem Verfahren wird ein pulverförmiges Material mit einem Laser aufgeschmolzen und so schichtweise ein Objekt geformt.

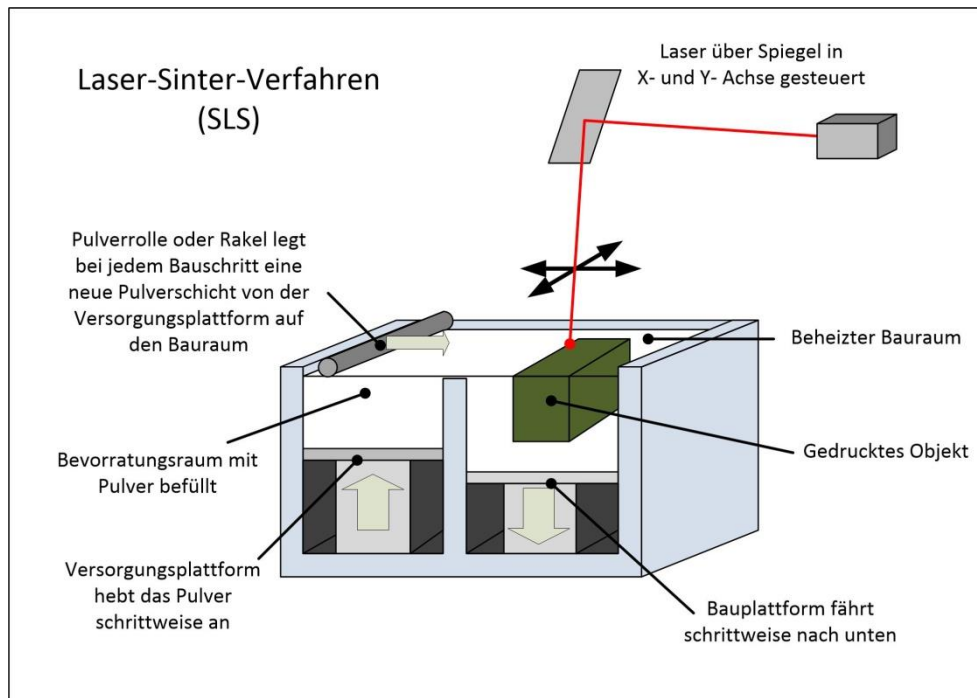


Abbildung 2: Prinzip des SLS-Verfahrens

2.2.1 Konstruktion

Prozessbedingt kann bei diesem Fertigungsverfahren vollständig auf den Einsatz von Stützstrukturen verzichtet werden.

Bei der Herstellung mit diesem Verfahren muss darauf geachtet werden, dass nicht verfestigtes Material innerhalb hergestellter Objekte nach der Fertigstellung wieder entfernt werden kann. Hierzu müssen entsprechende Öffnungen und Ablaufkanäle innerhalb des Objekts vorgesehen werden.

Aus diesem Grund können bei diesem Verfahren keine Hohlkörper mit vollständig geschlossenen Oberflächen hergestellt werden. Bei Verwendung von Füllstrukturen (bspw. zur Gewichtseinsparung) muss ebenfalls darauf geachtet werden, dass kein unverfestigtes Material eingeschlossen wird.

2.2.2 Material

Generell kann ein Objekt immer nur aus einem einzelnen Material gefertigt werden. Eine Fertigung aus mehreren Materialien gleichzeitig ist technisch derzeit nicht möglich.

Verwendet werden können pulverförmige thermoplastische Materialien (Kunststoffe und Metalle).

Prozessbedingt muss auch nicht verfestigtes Material stark erhitzt werden. Hierdurch kann die Qualität des Materials negativ beeinflusst werden, so dass nicht verfestigtes Material nicht direkt wiederverwendet werden kann. Durch Beimischen von neuem Material kann die Qualität ggf. wieder verbessert werden.

2.2.3 Nachbearbeitung

Nach der Fertigstellung des Drucks muss das Modell von nichtverfestigtem Pulver befreit werden. Hierzu können Druckluftgebläse verwendet werden. Aufgrund der Beschaffenheit des Objekts könnten flüssige Reinigungsmittel ggf. in das Objekt aufgesogen werden und dessen Eigenschaften beeinflussen.

Im Anschluss nach der Reinigung können die Oberflächeneigenschaften durch mechanische und/oder chemische Nachbehandlung angepasst werden.

2.2.4 Sonstiges

Bei diesem Verfahren können mehrere Objekte gleichzeitig in einem Bauraum gefertigt werden. Hierdurch kann die Fertigungsdauer pro Stück deutlich reduziert werden.

Darüber hinaus ist ein derartiges Vorgehen wirtschaftlich sinnvoll, da der Verlust an Material durch das notwendige Aufheizen hierdurch reduziert werden kann.

2.3 Layer-Laminated-Manufacturing (LLM)

Bei diesem Verfahren wird ein Folienmaterial schichtweise miteinander verbunden und die Umrisse des Objekts aus jeder Schicht geschnitten.

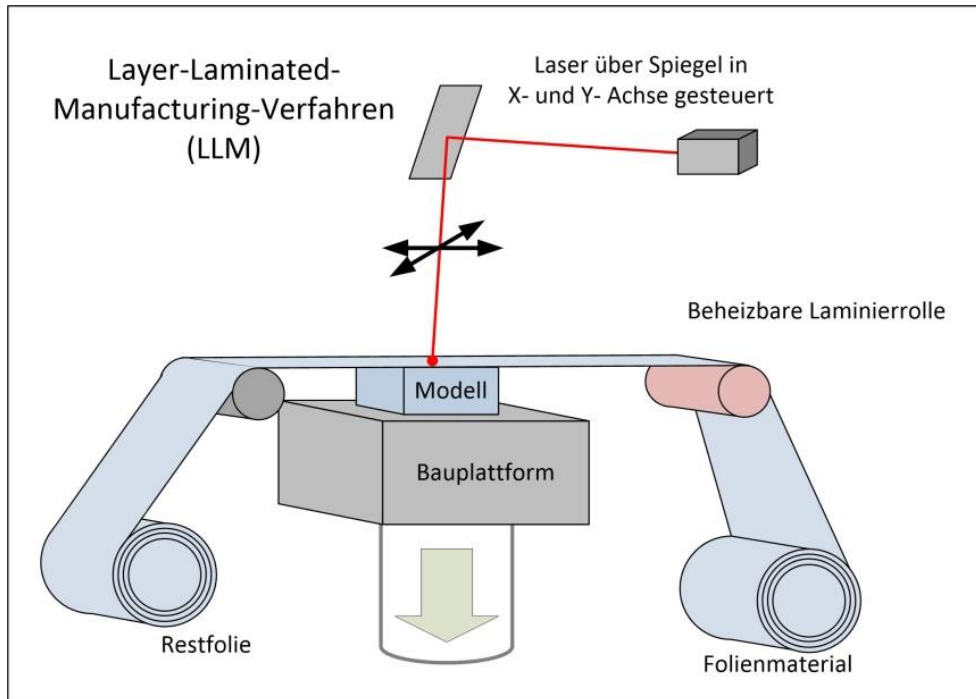


Abbildung 31: Prinzipdarstellung des LLM-Verfahrens

2.3.1 Konstruktion

Bei der Konstruktion wird prozessbedingt kein zusätzliches Stützmaterial benötigt.

Prozessbedingt können bei diesem Verfahren keine Hohlkörper mit vollständig geschlossenen Oberflächen hergestellt werden.

Von der Konstruktion dünner Bereiche (kleiner als 2mm) mit vertikaler Ausrichtung wird aufgrund mangelnder Stabilität abgeraten.

Hinterschnitte und Überhänge sind nur sehr bedingt realisierbar und erhöhen den Aufwand bei der anschließend notwendigen Nachbearbeitung.

2.3.2 Material

Verwendet werden können Folien aus Faserstoffen (Papier), Kunststoffen oder Metallen.

Nicht für das Modell benötigtes verklebtes Material kann nicht wiederverwendet werden.

2.3.3 Nachbearbeitung

Das gefertigte Objekt muss aus dem umgebenden, als Stützmaterial fungierenden Restmaterial herausgetrennt werden. Hierzu ist in der Regel ein hoher manueller Aufwand nötig.

Zur Erhöhung der Festigkeit, bzw. zur Vermeidung eines Aufquellens durch (Luft-)Feuchtigkeit muss das Objekt noch mithilfe entsprechender Chemikalien infiltriert werden.

2.4 Pulver-Binder-Verfahren

Bei diesem Verfahren wird ein pulverförmiger Stoff durch das Hinzufügen eines flüssigen Bindemittels verfestigt.

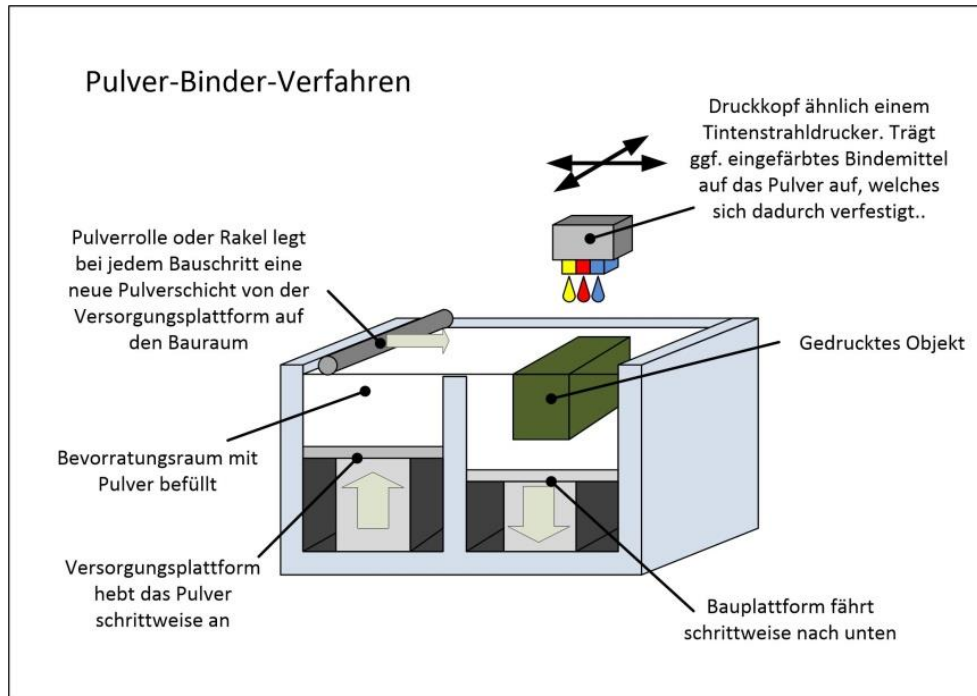


Abbildung 4: Prinzipdarstellung des Pulver-Binder-Verfahrens

2.4.1 Konstruktion

Prozessbedingt kann bei diesem Fertigungsverfahren vollständig auf den Einsatz von Stützstrukturen verzichtet werden.

Bei der Herstellung mit diesem Verfahren muss darauf geachtet werden, dass nicht verfestigtes Material innerhalb hergestellter Objekte nach der Fertigstellung wieder entfernt werden kann. Hierzu müssen entsprechende Öffnungen und Ablaufkanäle innerhalb des Objekts vorgesehen werden.

Aus diesem Grund können bei diesem Verfahren keine Hohlkörper mit vollständig geschlossenen Oberflächen hergestellt werden. Bei Verwendung von Füllstrukturen (bspw. zur Gewichtseinsparung) muss ebenfalls darauf geachtet werden, dass kein unverfestigtes Material eingeschlossen wird.

2.4.2 Material

Generell kann ein Objekt immer nur aus einem einzelnen pulverförmigen Grundmaterial gefertigt werden. Eine Fertigung aus mehreren Materialien gleichzeitig ist technisch derzeit nicht möglich. Die Verwendung unterschiedlicher Bindemittel bei der Herstellung eines Ob-

jekts ist möglich. Hierdurch können Bereiche mit unterschiedlichen Eigenschaften erzeugt werden.

Als Grundmaterial können theoretisch alle pulverförmigen Materialien dienen, die durch ein entsprechendes flüssiges Bindemittel verfestigt werden können. Dies umfasst z. B. Kunststoffe, Keramiken, Metalle oder biologische Materialien wie bspw. gemahlene Pflanzenteile.

Die Art des verwendeten Bindemittels ist von der Art des verwendeten Grundstoffes abhängig, weshalb an dieser Stelle keine genaue Auskunft zu den chemischen und ggf. toxischen Eigenschaften gegeben werden kann.

2.4.3 Nachbearbeitung

Nach der Fertigstellung des Drucks muss das Modell von nichtverfestigtem Pulver befreit werden. Hierzu können Druckluftgebläse verwendet werden. Aufgrund der Beschaffenheit des Objekts könnten flüssige Reinigungsmittel ggf. in das Objekt aufgesogen werden und dessen Eigenschaften beeinflussen.

Nach der Reinigung können durch Infiltrieren mit entsprechenden Flüssigkeiten die Festigkeit oder die Oberflächenbeschaffenheit des Modells verbessert werden.

2.4.4 Sonstiges

Bei diesem Verfahren können mehrere Objekte gleichzeitig in einem Bauraum gefertigt werden. Hierdurch kann die Fertigungsdauer pro Stück deutlich reduziert werden.

Das verwendete Bindemittel kann während des Drucks eingefärbt werden (ähnlich einem Tintenstrahldrucker). Hierdurch kann die Farbgebung gedruckter Objekte beliebig gestaltet werden.

2.5 Stereolithografie-Verfahren (SLA)

Bei diesem Verfahren wird ein UV-reaktives flüssiges Kunstharz schichtweise durch einen UV-Laser oder einen UV-Projektor zur Vernetzung gebracht. Hierbei kann das zu druckende Objekt auf zwei unterschiedliche Weisen hergestellt werden.

Verfahren 1: Die Belichtung der Flüssigkeit erfolgt an der Oberfläche der Flüssigkeit. Das Objekt wird schrittweise nach unten in die Flüssigkeit versenkt.

Vorteile:

- Keine Begrenzung der Fläche einzelner Druckschichten
- Keine Gefahr der Bildung sogenannter „Cups“ (näheres siehe Anmerkungen zur Konstruktion)

Nachteile:

- Modellhöhe begrenzt durch die Größe des Harzbehälters
- Hoher Bedarf an flüssigem Material zur Füllung des Druckbehälters

Verfahren 2: Die Belichtung der Flüssigkeit erfolgt durch eine transparente Scheibe am Boden eines Reservoirbehälters. Das Objekt wird mithilfe eines nach oben verfahrbaren Drucktisches aus der Flüssigkeit gehoben (Abbildung 5).

Vorteile:

- Geringer Flüssigkeitsbedarf, da nur eine dünne Schicht im Reservoirbehälter vorhanden sein muss
- Theoretisch unbegrenzte Bauhöhe

Nachteile:

- Gefahr von Cup-Bildung (näheres siehe Anmerkungen zur Konstruktion)
- Schichten mit großer Fläche müssen vermieden werden (näheres siehe Anmerkungen zur Konstruktion)
- Gegebenenfalls Verformung dünner Objektbereiche durch nachfließendes Material (näheres siehe Anmerkungen zur Konstruktion)

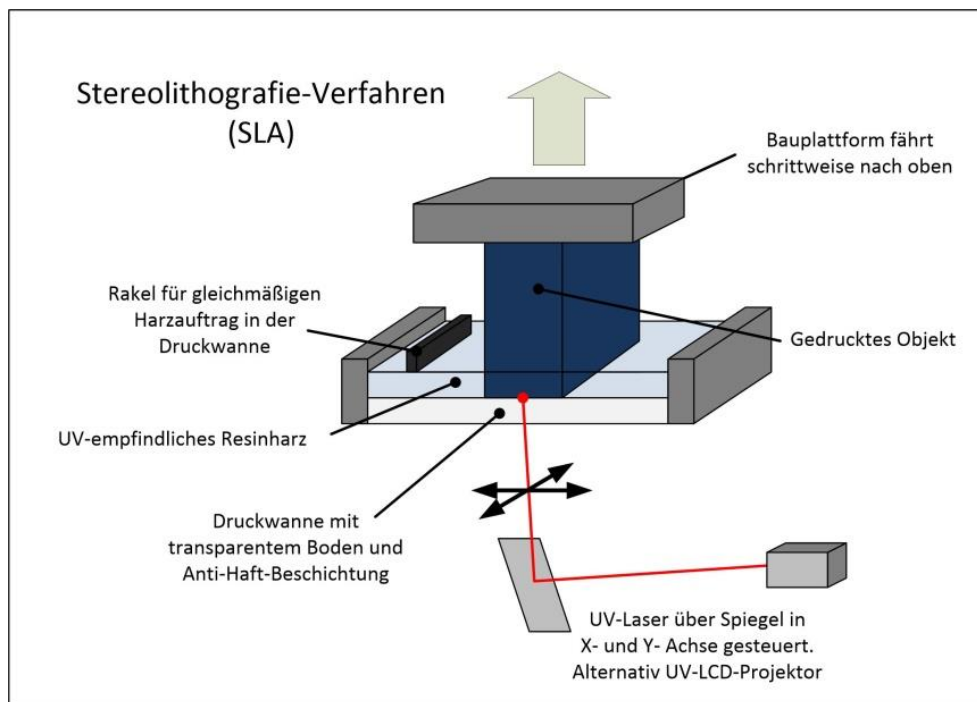


Abbildung 5: Prinzipdarstellung des SLA-Verfahrens

2.5.1 Konstruktion

Bei der Herstellung mit diesem Verfahren muss darauf geachtet werden, dass nichtverfestigtes Material innerhalb hergestellter Objekte entfernt werden kann. Hierzu müssen entsprechende Öffnungen und Ablaufkanäle innerhalb des Objekts vorgesehen werden.

Aus diesem Grund können bei diesem Verfahren keine Hohlkörper mit vollständig geschlossenen Oberflächen hergestellt werden. Bei Verwendung von Füllstrukturen (bspw. zur Gewichtseinsparung) muss ebenfalls darauf geachtet werden, dass kein unverfestigtes Material eingeschlossen wird.

Erfolgt die Belichtung des Harzes durch eine transparente Scheibe auf der Unterseite des Objekts, müssen bei der Konstruktion und der Orientierung des Objekts beim Druck Hohlräume (sog. „Cups“) vermieden werden, die zur Scheibe hin ausgerichtet sind. In diesen kann sich bei der Fertigung ein Unterdruck bilden, durch den sich das Objekt an der Scheibe festsaugt. Hierdurch kann sich das Objekt vom Drucktisch lösen. Erfolgt die Belichtung des Objekts an der Oberfläche der Flüssigkeit (und das Objekt wird in die Flüssigkeit hineingesenkt) tritt dieses Problem nicht auf.

Erfolgt die Belichtung des Harzes durch eine transparente Scheibe auf der Unterseite des Objekts, muss darauf geachtet werden, dass die Fläche einzelner Druckschichten möglichst gering gehalten wird. Ansonsten kann die Haftung des Objekts an der Scheibe zu stark wer-

den und dies zu einer Ablösung des Druckobjekts vom Drucktisch führen. Dies kann durch eine entsprechende Orientierung des Objekts beim Druck beeinflusst werden.

In der Regel wird bei diesem Verfahren eine Stützstruktur benötigt. Die Menge kann durch eine entsprechende Formgebung oder Orientierung des Objekts beeinflusst werden.

Der Druck großer flacher Bereiche erfordert den Einsatz zusätzlicher Stützstruktur, um Verformungen zu vermeiden.

Abhängig vom verwendeten Verfahren des Geräts kann zurückfließendes Harz zu einer Verformung dünner Bereiche des Druckobjekts führen.

2.5.2 Material

Generell kann ein Objekt immer nur aus einem einzelnen Material gefertigt werden. Eine Fertigung aus mehreren Materialien gleichzeitig ist technisch derzeit nicht möglich.

Zur Verwendung kommen bei diesem Verfahren Kunstharze, die bei Bestrahlung durch UV-Licht vernetzen.

Beim Einsatz dieser Materialien ist zu beachten, dass diese im flüssigen Zustand bei Körperkontakt häufig gesundheitsschädlich sind und daher nur mit entsprechender Schutzausrüstung gehandhabt werden müssen. Im vernetzten Zustand sind diese Materialien in der Regel unbedenklich.

Zur Nachbearbeitung werden zusätzliche Lösungsmittel (i. d. R. Isopropylalkohol) benötigt, bei denen ebenfalls die Angaben zur sicheren Handhabung im entsprechenden Sicherheitsdatenblatt berücksichtigt werden müssen.

Nicht vernetztes Material kann nach dem Druck für weitere Drucke verwendet werden.

2.5.3 Nachbearbeitung

Zur Nachbearbeitung muss das gedruckte Objekt mithilfe eines entsprechenden Reinigungsmittels von nichtvernetztem Material befreit werden. Dies kann sowohl manuell, als auch mithilfe eines entsprechenden Reinigungsgeräts automatisiert erfolgen.

Nach erfolgter Reinigung benötigt das gedruckte Objekt zusätzliche Zeit, bis das Material vollständig ausgehärtet ist. Hierzu ist i. d. R. die natürliche Sonneneinstrahlung ausreichend. Zur Beschleunigung und Standardisierung dieses Prozesses können entsprechende UV-Lampen eingesetzt werden.

Generell muss das zur Fertigung benötigte Stützmaterial entfernt werden. Der Aufwand hierfür ist abhängig von der gewählten Größe der Berührungspunkte. Je größer diese Punkte, umso größer der benötigte (Kraft-) Aufwand zum Entfernen.

Zu klein gewählte Berührungspunkte können bei dem oben beschriebenen Verfahren 2 zu einem Ablösen des Objekts während des Drucks führen.

Da das verwendete Material UV-reaktiv ist, ist eine abschließende Lackierung mit UV-blockierenden Eigenschaften ratsam, um einen beschleunigten Alterungsprozess des Materials im Einsatz zu vermeiden bzw. zu reduzieren.

3 Entscheidungskriterien

Aus den oben dargestellten Eigenschaften der unterschiedlichen additiven Fertigungsverfahren ergeben sich Kriterien, anhand derer sich beurteilen lässt, inwiefern aktuell eingesetzte Verpackungslösungen für eine additive Fertigung geeignet sind.

3.1 Produktmerkmale, die einen Einsatz der additiven Fertigung rechtfertigen

Trotz bestehender Einschränkungen additiver Fertigungsverfahren gegenüber klassischen Verfahren existieren spezielle Anforderungen an und Eigenschaften von Verpackungen, die eine Berücksichtigung additiver Fertigungsverfahren als alternative Lösung rechtfertigen können. Im Folgenden werden die im Rahmen des Projekts ermittelten Anforderungen bzw. Eigenschaften aufgezählt. Diese Liste erfüllt nicht den Anspruch der Vollständigkeit.

Der Einsatz additiver Fertigungsverfahren zur Herstellung von Verpackungen kann wirtschaftlich sinnvoll sein, wenn diese Verpackungen:

- nur in geringen Stückzahlen (weniger als 50) benötigt werden.
- komplexe Geometrien aufweisen, die ansonsten komplexe und damit teure Werkzeuge erfordern.¹
- besonders schnell benötigt werden (time-to-market < 1 Monat).
- besonders oft kleineren Veränderungen unterliegen (mehrfach pro Jahr).
- (bedingt) mehrwegfähig sein müssen (max. 10 Umläufe).

Für die Anwender von Verpackungen, die diese bisher von externen Herstellern bezogen haben, bieten die additiven Fertigungsverfahren die Möglichkeit, diese direkt Vor-Ort selbst zu produzieren. Ein derartiges Vorgehen wird jedoch nur empfohlen, wenn die Verpackungen nur für eigene In-House-Prozesse verwendet werden, da hierdurch u. a. keine Gewährleistungspflichten gegenüber Dritten auftreten oder die Verpackung allgemeingültige Standards und Normen erfüllen muss. Denkbar sind hier bspw. speziell benötigte Werkstückträger.

3.2 Ausschlusskriterien für den Einsatz additiver Fertigungsverfahren

Die bisherigen Möglichkeiten und Anforderungen der additiven Fertigungsverfahren erlauben einen wirtschaftlich sinnvollen Einsatz nur für eine eingeschränkte Menge von Verpa-

¹ Hierbei sollten unbedingt die individuellen Einschränkungen der additiven Fertigungsverfahren an die Formgebung der herzustellenden Objekte berücksichtigt werden (vgl. Kap. 2).

ckungen. Es ist davon auszugehen, dass der Einsatz additiver Fertigungsverfahren wirtschaftlich nicht sinnvoll ist, wenn die Verpackung u. a.:

- in hohen Stückzahlen erforderlich ist (mind. 1.000),
- eine absehbar lange Einsatzzeit ohne notwendige Änderungen hat,
- besonders hohe mechanische Anforderungen erfüllen muss².

3.3 Wirtschaftliche Kriterien zur Bewertung der additiven Fertigung

Neben den auch bei der klassischen Fertigung anfallenden Kosten (Konstruktion, Bedienung der Maschine etc.) treten bei den additiven Fertigungsverfahren auch spezifische Kosten auf, die vor der Einführung dieser Verfahren berücksichtigt werden sollten. Diese werden im Folgenden kurz erläutert.

3.3.1 Fertigungsgeschwindigkeit

Die stückmäßige Fertigungsgeschwindigkeit additiver Fertigungsverfahren liegt in der Regel deutlich unterhalb klassischer Verfahren wie dem Spritzgießen oder dem Thermoformen. Dies sollte bei der Anschaffung eines entsprechenden Geräts berücksichtigt werden, da hierdurch der Anteil der Anschaffungskosten des Geräts an den Stückkosten entsprechend stark beeinflusst wird.

Zur Bestimmung der voraussichtlichen Fertigungsdauer ist es daher ratsam, diesen Aspekt mit dem Hersteller des 3D-Druckers vor der Anschaffung anhand realistischer CAD-Modelldaten näher zu besprechen.

3.3.2 Nachbearbeitung

Die meisten additiven Fertigungsverfahren benötigen eine Nachbearbeitung der hergestellten Objekte. Diese sind in der Regel nur manuell oder durch den Einsatz kostenintensiver automatisierter Systeme (bspw. CNC- oder robotergestützte Systeme) umsetzbar. Abhängig vom verwendeten 3D-Druck-Verfahren werden bereits Lösungen zur Automatisierung notwendiger Nachbearbeitungsprozesse von Herstellern der 3D-Drucker angeboten. Diese benötigen ggf. zusätzliche Betriebsstoffe.

² Hierbei wird von Produkten aus Kunststoff ausgegangen. Objekte, die im SLS-Verfahren aus Metall hergestellt werden, können sehr hohen mechanischen Anforderungen gerecht werden.

3.3.3 Herstellerabhängigkeit bei der Materialauswahl

Aktuell ist es üblich, dass Anbieter von 3D-Druck-Systemen gleichzeitig das zu verwendende Material anbieten. Dies geschieht mit der Zielvorgabe, die qualitativen Eigenschaften der hergestellten Produkte sicherstellen zu können. Dies bedeutet für den Anwender jedoch gleichzeitig eine gewisse Abhängigkeit vom gewählten Hersteller. Die Verwendung von Materialien, die nicht vom Originalhersteller des 3D-Druckers bezogen werden, kann ggf. zu einem zusätzlichen Arbeitsaufwand, reduzierter Qualität der gedruckten Objekte oder sogar einem Verlust der Herstellergarantie auf den 3D-Drucker führen. Der Umstand einer derartigen längerfristigen Bindung an einen Hersteller sollte bei der Auswahl eines 3D-Druck-Systems mit berücksichtigt werden.

Gegebenenfalls können abhängig vom geschlossenen Vertrag weitere Kosten entstehen, bspw. wenn der 3D-Drucker für den Einsatz neuer Materialien vom Hersteller neu konfiguriert werden muss.