

# Nutzung von 3D-Printing für die Herstellung von Verpackungen aus aufbereitetem Miscanthusstroh

Klemm, Diana Dipl.-Ing. (BA)\*; Meyer, Wolfgang, Dr. rer. nat. habil.\*; Glowa, Gunther Dr.-Ing.\*; Zeidler, Henning Dr.-Ing.\*

*\*BECKMANN-INSTITUT für Technologieentwicklung e. V., Turleyring 15, 09376 Oelsnitz/Erzgeb.*

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens, welches durch das BMWi über einen Zeitraum von zwei Jahren gefördert wurde, ist untersucht worden, inwieweit der nachwachsende Rohstoff Miscanthus zur Herstellung von Verpackungen genutzt werden kann. Hierbei wurden zwei Verfahren, das Fasergussverfahren und das additive Fertigungsverfahren 3D-Printing, betrachtet. Beteiligt waren drei KMU und zwei gemeinnützige Forschungseinrichtungen.

## Aufgabenstellung

An die Verpackung stoß- und temperaturempfindlicher Prototypen werden besondere Anforderungen gestellt. So müssen folgende Kriterien erfüllt werden:

- Absorption von stoßartigen mechanischen Belastungen
- Keinerlei zusätzliche mechanische Beanspruchung durch die Verpackung (Einklemmen, Verdrehen, Stauchen, ...), d. h. gute Geometriedarstellung
- Gute Dämmeigenschaften gegenüber Temperaturschwankungen
- Zeitfenster für Herstellung gleich dem von Prototypen
- Wesentlich kostengünstiger als zu verpackendes Bauteil

Bisherige Verpackungsvarianten mit losen oder individuell formbaren Materialien bewirkten, dass die oben genannten Kriterien nicht in jedem Fall erfüllt wurden. Für sehr empfindliche Prototypen, beispielsweise aus Wachs, ist eine sichere Verpackung nur sehr selten gewährleistet.

Da für die Herstellung von Prototypen zunehmend additive Fertigungsverfahren Anwendung finden, ist es letztendlich logisch, ebenso derartige Verfahren für die Herstellung der Verpackungen einzusetzen. Hierdurch können die Kriterien der guten Geometriedarstellung und der Produktionszeit erfüllt werden. Die Anforderungen an Verpackungen haben jedoch in den letzten Jahren um das Thema Nachhaltigkeit bzw. Recyclingfähigkeit zugenommen. Aus

diesem Grund wurde nach einem nachwachsenden Rohstoff gesucht, der die oben genannten Kriterien ebenso erfüllt.

Als Verfahren für die Verarbeitung wurde das additive Fertigungsverfahren 3D-Printing genutzt, da dieses vielfältige Materialkombinationen durch die Kombination aus einem Pulver und einem flüssigen Binder zulässt. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde zudem das klassische Fasergussverfahren untersucht, da auch dieses den Einsatz faserhaltiger nachwachsender Rohstoffe zulässt. Dieses Verfahren findet hauptsächlich für größere stoßempfindliche Verpackungsgüter Anwendung.

## **Material**

Miscanthus, auch Chinaschilf genannt, ist eine C4-Pflanze mit hoher Biomassezuwachsrate und niedrigen Anforderungen an Boden und Klima, die als nachwachsender Rohstoff sowohl energetisch als auch stofflich Anwendung findet. Ein etabliertes Feld kann über Jahrzehnte mit vergleichsweise wenig Aufwand bewirtschaftet, jährlich geerntet und einfach aufbereitet werden. Derzeit wird deutschlandweit auf ca. 4.000 ha diese Pflanze angebaut. Die Verwertung ist vordergründig energetischer Art, zunehmend jedoch auch in Form von Tiereinstreu oder für die Verwendung in der Bauindustrie.



Abb. 1: Miscanthus [Gießereitechnik Kühn]

## Fasergussverfahren

Der Einsatz von Miscanthus als nachwachsender Rohstoff im Fasergussverfahren wurde wesentlich von dem Projektpartner FGW Fasergusswerk Polenz GmbH durchgeführt. In Abbildung 2 ist der Verfahrensablauf dieses Verfahrens dargestellt.

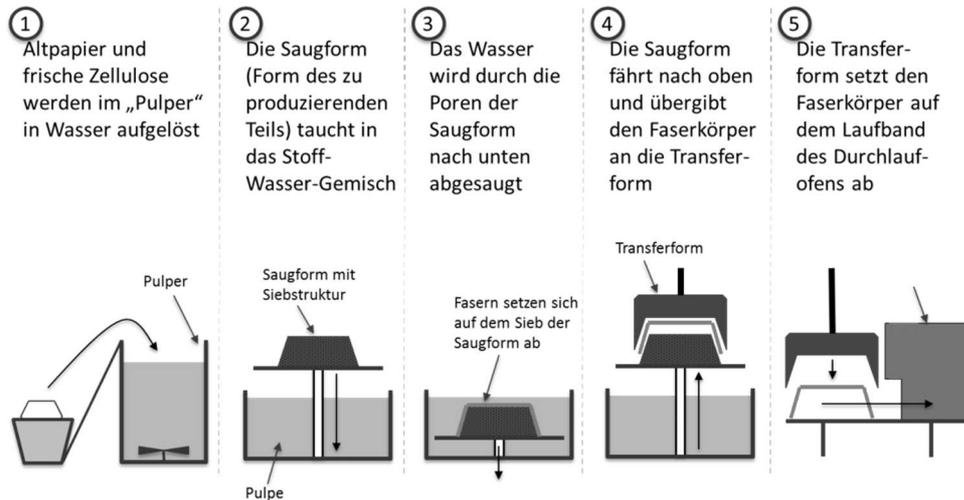


Abb. 2: Ablauf des Fasergussverfahrens [Fasergusswerk Polenz GmbH]

Ein Schwerpunkt bei den Untersuchungen war die Aufbereitung der Fasern für die Abformung. Diese erfolgt mittels Pulper und Mahlholländer, wobei verschiedene verfahrenstechnische Parameter und Anlagenkombinationen getestet wurden. Auch der Einsatz verschiedener Anteile an Miscanthus wurde untersucht. Der alleinige Einsatz von Miscanthus ist aufgrund der geringen Quellfähigkeit und Reaktivität nicht möglich. Durch Prozessoptimierung konnte der Anteil an Cellulose auf 50% reduziert werden .

Der Einsatz von Miscanthus birgt zahlreiche Vorteile. So kann zum Beispiel die Ansaugzeit der Fasern von 16s auf 2s reduziert werden. Die hergestellten Verpackungen weisen im Vergleich zu herkömmlichen Fasergussverpackungen ein höheres Dämpfungsverhalten auf. Die Durchführung von Stauchdruckprüfungen ergab, dass die Festigkeit der hergestellten Verpackungen vergleichbar mit denen aus 100% Cellulose ist.

Neben der unternehmensinternen Aufbereitung mit Pulper und Mahlholländer wurde auch eine Aufbereitung mit Zerkleinerungsextruder untersucht. Die so aufbereiteten Fasern ließen sich sehr gut im Fasergussverfahren einsetzen. Der Einsatz von Fasern, die zuvor in einem Zerkleinerungsextruder aufbereitet wurden, hat den Vorteil, dass das Dämpfungsverhalten weiter erhöht werden kann und der Anteil an Miscanthus in der Pulpe größer gestaltet werden kann.

Das Fasergussverfahren wird unter anderem zur Herstellung von Verpackungen für Glasflaschen verwendet. Dem entsprechend sind die Anforderungen an die Stoßfestigkeit und Stoßdämpfung sehr hoch. Es wurden ausgewählte Verpackungen unter Nutzung der Mischung aus Miscanthus und Cellulose hergestellt und bezüglich ihrer mechanischen Eigenschaften getestet.

Neben der Verwendung zur Herstellung von Verpackungen wird das Fasergussverfahren auch für die Fertigung von Pflanzgefäßen eingesetzt. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde festgestellt, dass Miscanthus Bakterien und Pilzen weniger Nährboden bietet, wodurch die gefertigten Pflanzgefäße eine wesentlich geringere Schimmelneigung aufweisen.

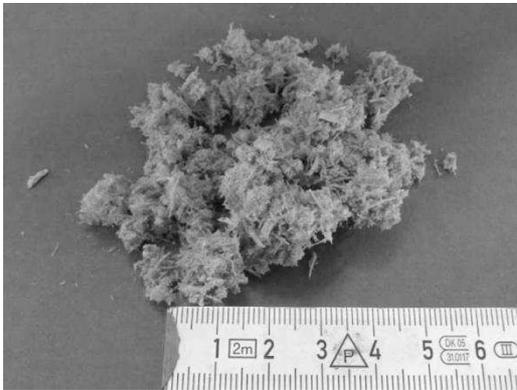


Abb. 3: Miscanthusfasern nach der Zerfaserung



Abb. 4: Detailaufnahme eines Pflanzgefäßes aus zerfaserten Miscanthus

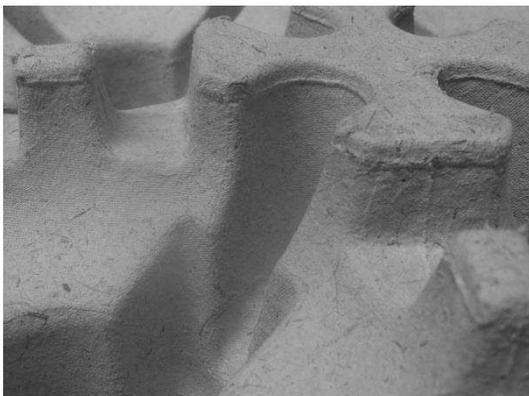


Abb. 5: Fasergussverpackung mit Miscanthus; obere Ansicht



Abb. 6: Fasergussverpackung mit Miscanthus, untere Ansicht

# 3D-Printing

## Verfahren

Das 3D-Printing gehört zu der Gruppe der additiven Fertigungsverfahren. Wie bei allen Verfahren dieser Gruppe müssen die Daten von einem CAD-spezifischen Format in das systemneutrale STL-Format (Standard Triangulation Language) übertragen werden. Anschließend werden die Daten im Computer in prozessspezifische parallele Scheiben geschnitten. Abhängig vom verwendeten additiven Fertigungsverfahren werden auch notwendige Supportstrukturen und Skalierungen am Datensatz vorgenommen. Abschließend werden die Daten an die Maschine übertragen und über das jeweilige Verfahren Schicht für Schicht hergestellt. Die einzelnen Schichten verbinden sich dabei miteinander, so dass ein zusammenhängendes Bauteil entsteht.

Beim 3D-Printing werden die Schichten von einem Schieber oder einer Walze dadurch gebildet, dass Material aus einem Vorratsbehälter (Feed) gleichmäßig auf einer Bauplatzform (Build) aufgetragen wird. Die Schichtinformation aus dem Datensatz wird über einen Druckkopf mittels einer Binderflüssigkeit auf der dünnen Materialschicht auf der Bauplatzform aufgetragen. Die Funktionsweise entspricht in etwa der eines Flüssigkeitsdruckers. Die einzelnen Schichten verbinden sich und bilden so, nach Abschluss des Druckprozesses, das fertige Modell. Der Aufbau der Anlagentechnik und das Prinzip dieses Verfahrens sind in der Abbildung 7 dargestellt.

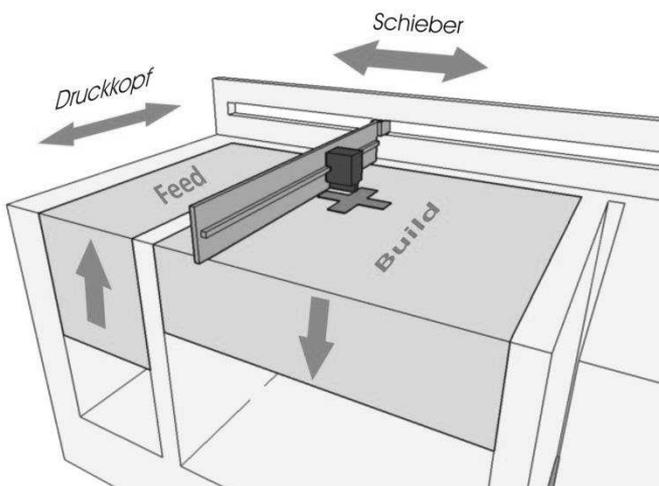


Abb. 7: Schematischer Aufbau eines 3D-Druckers

Standardmäßig wird mit einem modifizierten Gipspulver gearbeitet, welches eine definierte Körnung aufweist um eine stabile Gefügeausbildung zu garantieren. Für die Nutzung mit Miscanthuspulver sind Anpassungen der Gerätetechnik erforderlich. Zudem spielt die Reaktion zwischen flüssigem Binder und Pulver eine entscheidende Rolle, um ein festes Bauteil zu erhalten. Aufgrund der Eigenschaften von Miscanthus sind sowohl die Aufbereitung als auch die Festlegung des Binders von zentraler Bedeutung.

### Materialaufbereitung und Parametereinstellung

Das Material ist so aufzubereiten, dass es der Korngrößenverteilung des Standardmaterials für 3D-Printing annähernd entspricht. Die Aufbereitung des Halmgutes nach der Ernte erfolgt dabei in einer Schrotmühle mit verschiedenen Siebeinsätzen. Die Partikelverteilung ist zu diesem Zeitpunkt noch sehr ungünstig (vgl. Abbildung 8). Die Entnahme der geeigneten Fraktionen unterhalb einer Siebclassengröße von 180µm brachte erste Erfolge. Der weitere Aufschluss der größeren Partikel in einer Ultrazentrifugalmühle führte zu feineren Körnungen und damit auch besseren Ergebnissen (vgl. Abbildung 9).

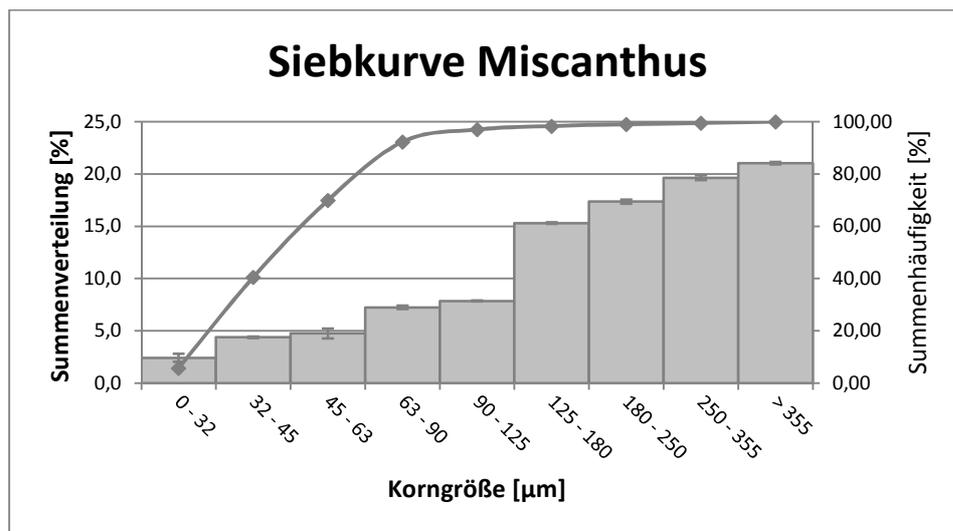


Abb. 8: Siebcurve von Miscanthus vor der Aufbereitung

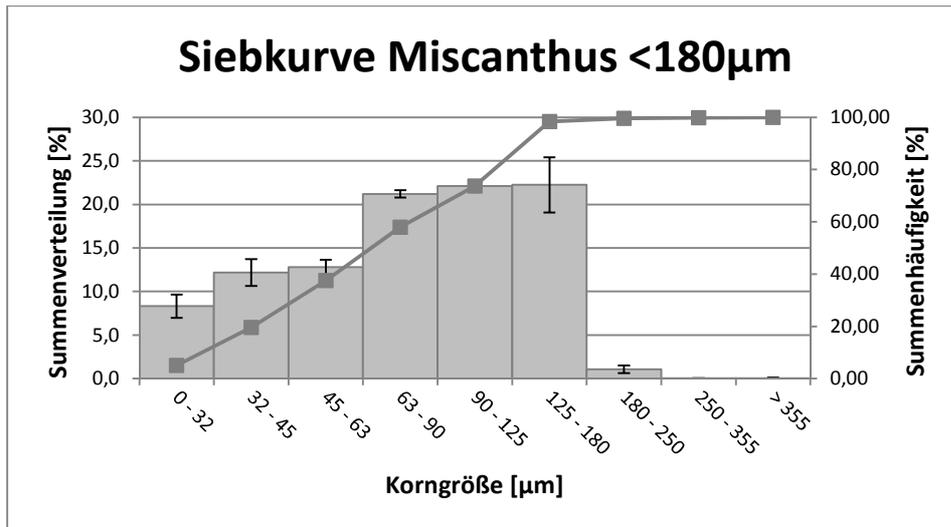


Abb. 9: Siebkurve von Miscanthus nach der Aufbereitung

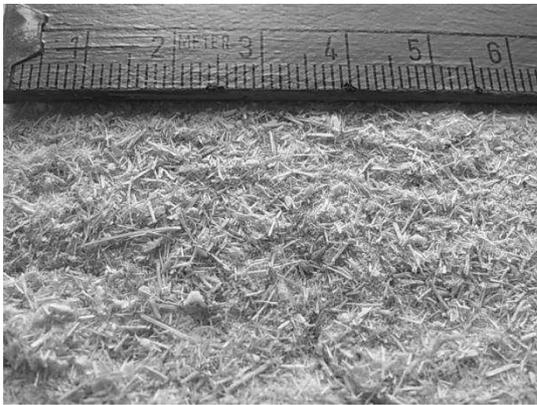


Abb. 10: Miscanthusstroh ohne weitere Aufbereitung

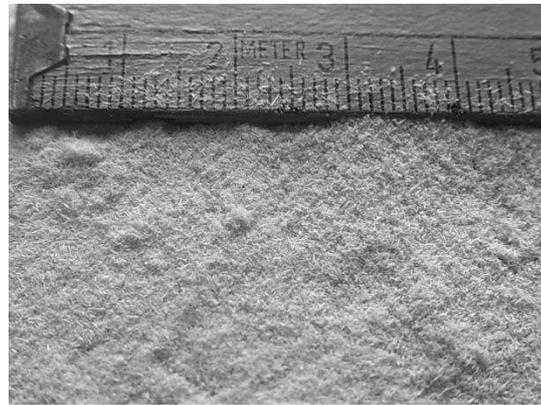


Abb. 11: Miscanthusstroh nach dem Aufschluss in der Ultrazentrifugalmühle

Neben der Aufbereitung des Pulvers ist die Auswahl des geeigneten Binders von ebenso großer Bedeutung. Das Standardmaterial ist ein modifiziertes Gipsmaterial welches sehr gut mit dem Standardbinder, einer wässrigen Lösung, reagiert und innerhalb kurzer Zeit eine feste Struktur bildet. Miscanthusstroh ist hingegen nicht reaktiv mit diesem Binder und bildet daher auch keine festen Strukturen aus. Da eine chemische Modifikation des Miscanthuspulvers zu aufwändig erscheint, wurde untersucht, inwieweit verschiedene wässrige Lösungen in Kombination mit einem Zusatz zu dem Pulver oder ohne einen solchen eine Gefügebildung hervorrufen.

Bei der Auswahl dieser Zusätze musste darauf geachtet werden, dass die rückstandsfreie Verbrennung bzw. die Kompostierung nicht behindert werden. Zudem muss beachtet werden, dass es am Druckkopf des 3D-Printers zu einer lokal begrenzten Erhitzung der Binderflüssigkeit auf ca. 80°C kommt. Einige Binderbestandteile können so zu Verkrustungen,

Verklebungen oder chemischen Reaktionen am Druckkopf führen. Um dies zu vermeiden, sind Konzentrationen an Säuren, Basen oder organischen Lösungsmitteln, die sich bei einigen Pulvern als geeignet erwiesen, sehr klein zu halten. Untersuchungen mit noch akzeptablen Gehalten dieser Bestandteile führten jedoch nicht zu einer Strukturbildung in Verbindung mit Miscanthus, weshalb diese Komponenten nicht weiter betrachtet wurden.

Da das Risiko besteht, dass Miscanthuspulver allein mit einem Binder nicht zu einer Strukturbildung führt, wurde die Beimischung von reaktiven Komponenten zu dem Pulver in Betracht gezogen. Es wurden biologisch unbedenkliche Komponenten ausgewählt, von denen bekannt ist, dass sie zu einer Strukturbildung im 3D-Printing Prozess führen. So wurden Maisstärke, Dextrose, Gelatine, Ligninsulfonat, Polyvinylalkohol (PVA) und Wasserglas untersucht. Gute Ergebnisse lieferten nur die letzten drei untersuchten Substanzen, wobei Unterschiede in der Qualität der hergestellten Teile deutlich waren und zu einer weiteren Selektion führten. So waren entweder die Beimischungen zu groß oder die Geometriedarstellung zu ungenau. Letztendlich wurden die weiteren Versuche mit einer Beimischung von etwa 15 Gew.-% PVA durchgeführt.

Da PVA als Reaktionspartner Wasser benötigt, wurde auch nur dieses als Binder eingesetzt.

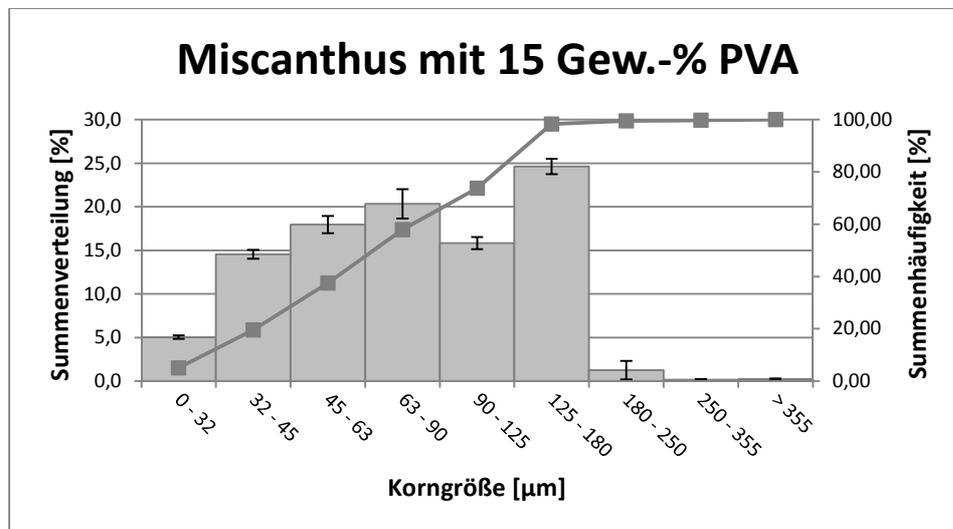


Abb. 12: Siebkurvenanalyse der Miscanthusmischung mit Miscanthus

Des Weiteren wurden verschiedene Verfahrensparameter, das Drucken betreffend, festgelegt. So wird mit einer Schichtstärke von 0,1 mm im 3D-Printing gearbeitet, was zu einer hinreichend genauen und schnellen Bauteilerstellung führt. Zudem wurden die Werte für die Sättigung der unterschiedlichen Bereiche des Gefüges druckerintern festgelegt, so dass der Druckvorgang weiterhin bei trotzdem genauer Geometriedarstellung beschleunigt werden kann. Ein

Skalierfaktor, abhängig von der Bauteilgröße, kompensiert die Schwindung die bei der anschließenden Trocknung der Verpackungskörper auftritt.

### Geometrieerstellung

Ein wichtiger Punkt war die Entwicklung des Softwaretools zur automatischen Generierung der Verpackungsgeometrie basierend auf den Geometriedaten des Verpackungsgutes. Abhängig von der Komplexität des zu verpackenden Bauteiles und den Anforderungen an die Verpackung des speziellen Bauteiles muss die Verpackung an die Geometrie angepasst werden. Schon im Vorfeld wurde das derzeitige weit verbreitete CAD-System Siemens NX als Basis für die Entwicklung ausgewählt. Als Entwicklungspartner agierte ein regional ansässiges Softwareentwicklungsunternehmen.

Ausgangspunkt für eine Verpackungskonstruktion ist die 3D-Geometrie des zu verpackenden Objektes, welche in das Tool „Verpackungsassistent“ eingelesen wird. Von dem Benutzer werden einige wenige Eingaben verlangt um die Verpackungsgeometrie zu erstellen. Es wird bei den Verpackungen zwischen zwei verschiedenen Typen unterschieden. Typ 1-Verpackungen sind für sehr einfache Bauteile gedacht und für Bauteile die nur an zwei Stellen fixiert werden dürfen (vgl. Abbildung 13). Verpackungen vom Typ 2 sind für Bauteile vorgesehen, die aufgrund ihrer Komplexität oder Empfindlichkeit komplett umschlossen werden müssen (vgl. Abbildung 14). Bei beiden Verpackungstypen können nach dem Erstellen manuell Änderungen der Verpackungsgeometrie vorgenommen werden.

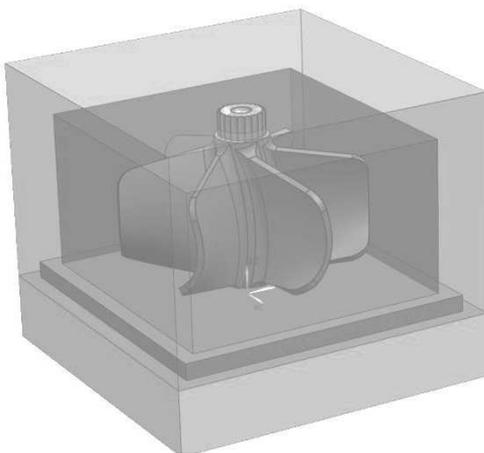


Abb. 13: Beispiel einer Verpackung Typ 1

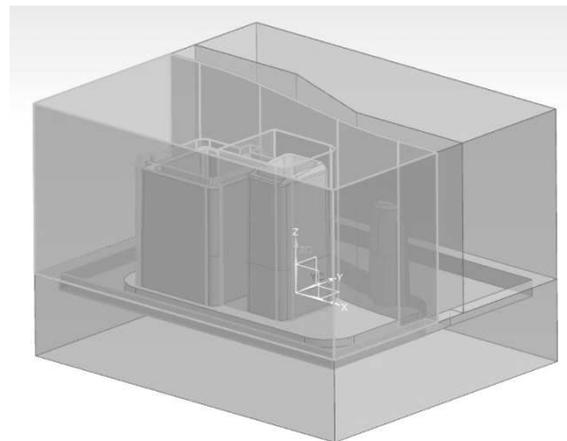


Abb. 14: Beispiel einer Verpackung Typ 2

Die erstellten Verpackungskörper, bestehend aus mindestens zwei Teilen, werden als STL-Daten exportiert.

## Ergebnisse

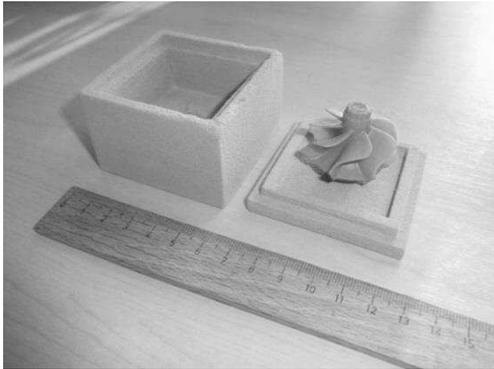


Abb. 15: Verpackung für Wachsmodell eines Turbinenrades

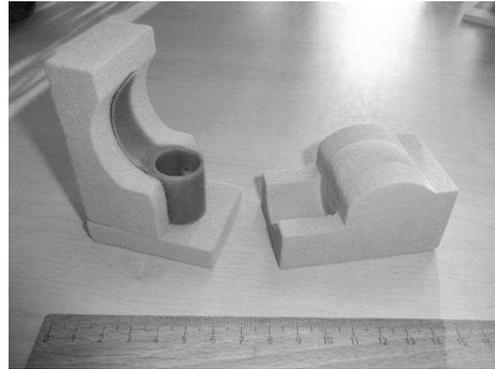


Abb. 16: Verpackung für Wachsmodell eines chirurgischen Werkzeugs

Es wurden Verpackungen für reale Bauteile erstellt (vgl. Abbildungen 15 und 16), wodurch der Einfluss der Verpackung auf das Bauteil getestet wurde. So konnte nachgewiesen werden, dass die Oberfläche der zu verpackenden Bauteile nicht beeinträchtigt wird. Bei sehr empfindlichen lackierten Oberflächen kann zusätzlich eine Fixierung möglicher freier Pulverbestandteile durch eine biologisch unbedenkliche Beschichtung erfolgen, wodurch die Gefahr des Abriebes weiter minimiert wird.

Die bislang untersuchten Verpackungen sind für eine zusätzliche Umverpackung ausgelegt, weshalb eine Festigkeitsprüfung zum jetzigen Zeitpunkt nicht durchgeführt wurde.

Um die Verpackungen bezüglich ihres Dämpfungsverhaltens gegenüber Schwingungen zu untersuchen, wurde eine angepasste Verpackung für einen Datenlogger erstellt. Dieser wurde anschließend darin positioniert, in einen Karton mit losem Verpackungsmaterial gepackt und über einen KEP-Dienstleister versendet. Während des Transportes wurden Signale bezüglich Beschleunigung in drei Achsen aufgezeichnet.

Die maximal zulässigen Beschleunigungswerte wurden während des Transportes nicht überschritten. Die grundsätzliche Eignung dieser Verpackungen als Transportschutz für sensible Produkte konnte damit bestätigt werden.

Als zusätzlicher Effekt konnte nachgewiesen werden, dass gute Dämmeigenschaften gegenüber Temperaturschwankungen vorhanden sind. Dies ist vor allem für das Versenden von temperaturempfindlichen Wachsbauteilen für den Präzisionsguss von großer Bedeutung. Diese Teile sind vor zu hohen aber auch niedrigen Temperaturen zu schützen.

Es wurden Verpackungen aus Wellpappe und LDPE gegenüber einer Miscanthusverpackung bezüglich der Temperaturdämmung untersucht. Dabei zeigt sich, dass Miscanthus zu einer deutlich verzögerten Wärmeübertragung führt (vgl. Abbildung 17).

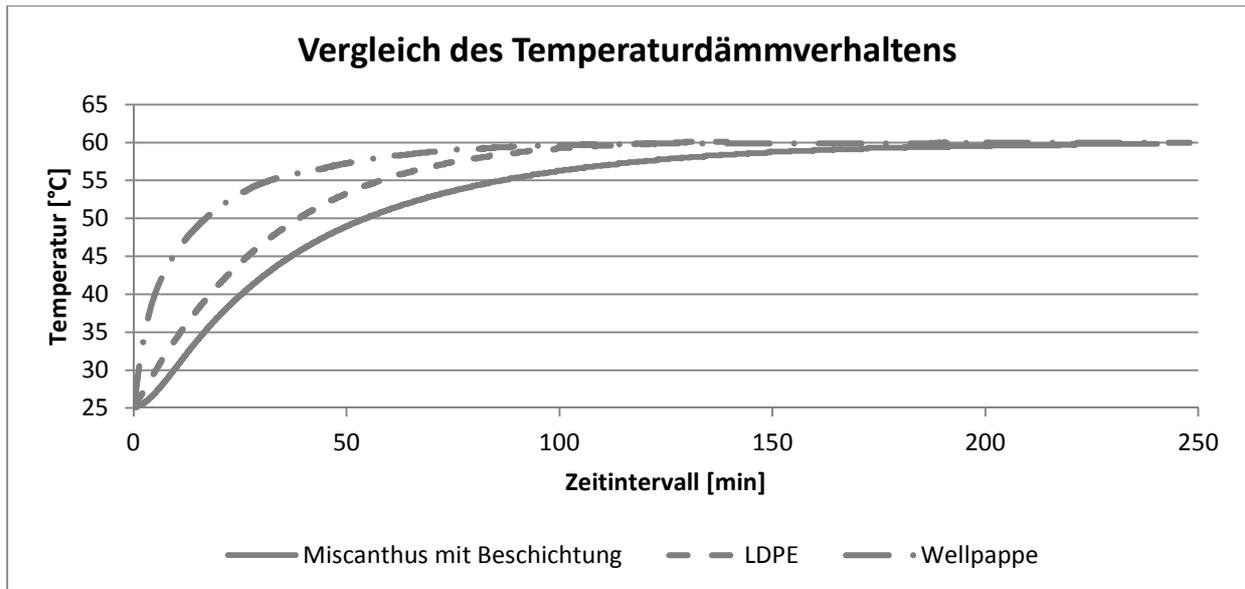


Abb. 17: Vergleich des Temperaturdämmverhaltens unterschiedlicher Verpackungen

## Zusammenfassung

Die hergestellten Verpackungen, sowohl über das Fasergussverfahren als auch über das 3D-Printing, erfüllen die genannten Anforderungen. Da keinerlei Substanzen eingesetzt werden, die eine energetische Verwertung bzw. Kompostierung behindern und zudem der nachwachsende Rohstoff Miscanthus eingesetzt wird, ist der Gedanke einer Nachhaltigkeit und Recyclingfähigkeit umgesetzt.

Die Prozesszeiten der Fertigung von Verpackungen durch 3D-Printing sind vergleichbar mit der Herstellung von Prototypen durch andere additive Fertigungsverfahren, so dass eine Just-In-Time Fertigung für Prototypenverpackungen gewährleistet werden kann.

Die Ergebnisse im Fasergussverfahren und 3D-Printing lassen einen positiven Einsatz des Rohstoffes Miscanthus im Bereich der Verpackung erkennen. Derzeitig noch begrenzt auf Nischenanwendungen, eröffnen sich zunehmend weitere Anwendungen dieses nachwachsenden Rohstoffes.