Gefördert durch:

Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

DATIpilot

DATIpilot Modul 1 Innovationssprints

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Kurzbericht und Eingehende Darstellung
öffentlich

Verfahrensprozesskette zur formwerkzeuglosen Produktion von Transmissionline-Gehäusen aus Myzelwerkstoff

mycoustics

	Institution	Name Projektleitung	Förderkennzeichen
Teilprojekt **A „Verfahrensprozesskette" (Koordination)**	Fraunhofer IWU	Lukas Boxberger	03DPS1292A
Teilprojekt **B „Innovationstransfer und Technologiekommunikation"**	Haute Innovation	Prof. Dr. Sascha Peters	03DPS1292B

LAUFZEIT: 01.09.2024 – 28.02.2026

Dresden, den 27.08.2026

Autorenschaft: Prof. Dr. Sascha Peters, Christoph Eppler, Lukas Boxberger

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Inhalt

Kurzbericht **2**

1.1 Ausgangslage des Vorhabens 4

1.1.1. Ursprüngliche Aufgabenstellung *4*

1.1.2. Ursprüngliche wissenschaftliche und/oder technische Arbeitsziele *4*

1

1.1.3. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde *4*

1.2 Ablauf des Vorhabens 5

1.3 Ergebnisse des Vorhabens 6

1.3.1. Wesentliche Ergebnisse *6*

1.3.2. Zusammenarbeit mit anderen Stellen *6*

Eingehende Darstellung **7**

2

2.1 Durchgeführter Arbeitsplan 19

2.2 Erreichte Meilensteine 27

2.3 Erreichte Ergebnisse 28

2.3.1 Erreichung der Gesamtziele *28*

2.3.2 Erreichung der wissenschaftlichen und/oder technischen Arbeitsziele *29*

2.4 Verwertung 33

2.4.1 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses *33*

2.4.2 Fortschritt Dritter auf dem Gebiet des Vorhabens *34*

2.4.3 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse *35*

2.4.4 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit *45*

Kurzbericht

Im Verbundvorhaben **mycoustics** wurde eine Verfahrensprozesskette zur formwerkzeuglosen Herstellung von Bauteilen aus lebendmyzelhaltigen Holzpasten entwickelt und anhand eines Transmissionline-Lautsprechergehäuses erprobt. Im Mittelpunkt des Teilprojekts „Verfahrensprozesskette“ des Fraunhofer IWU standen die Material- und Prozessentwicklung, die additive Formgebung, die Kultivierung sowie die Herstellung eines anwendungsnahen Demonstrators. Das ursprüngliche Gesamtziel bestand darin, innerhalb eines Bauteils schallabsorbierende und schallreflektierende Bereiche durch eine gezielte Beeinflussung des Myzelwachstums zu erzeugen.

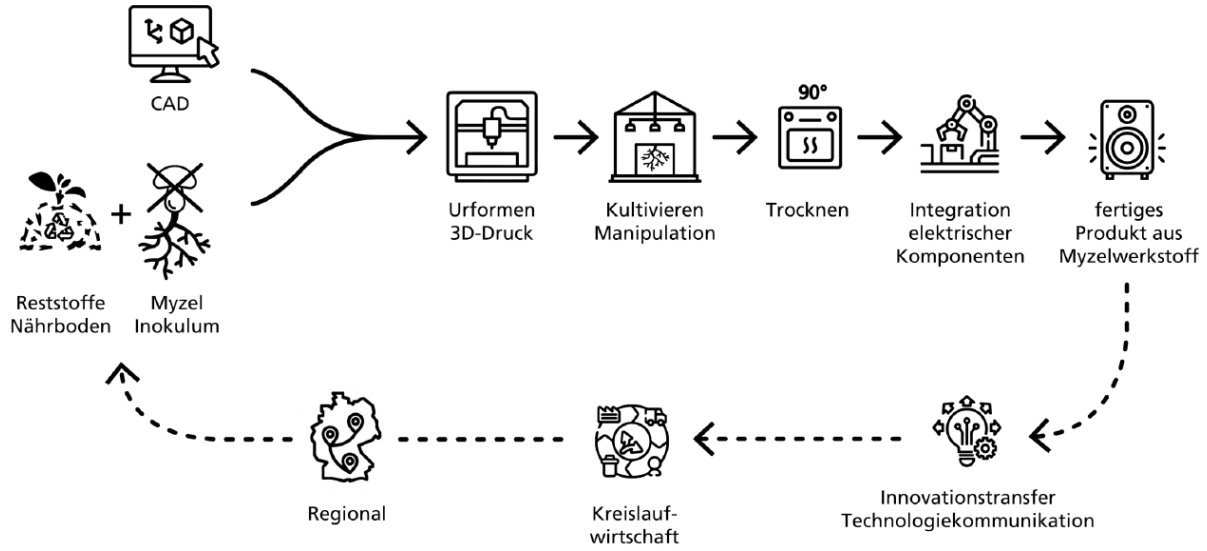


Abbildung 1: Im Projekt adressierte Prozesskette von der Substrat- und Pastenherstellung über den 3D-Druck und die Kultivierung bis zur Trocknung und zum fertigen Myzelbauteil.

Als wesentliches wissenschaftlich-technisches Ergebnis wurde eine extrudierbare und grundsätzlich formstabile Paste auf Basis von Myzelsubstrat, Buchenholzbestandteilen, Nährstoffen, Bindemitteln und Wasser entwickelt. Für deren Verarbeitung wurde ein vorhandener Paste-Deposition-Modeling-Drucker modifiziert und an die Verarbeitung der biologischen Paste angepasst. In den Versuchen konnten zunächst kleinere, geometrisch definierte und dimensionsstabile Probekörper hergestellt werden. Darauf aufbauend wurde der Prozess auf einen Demonstrator im Maßstab 1:1 übertragen. Dieser wurde im Spiral- beziehungsweise Vase-Modus mit einer 8-mm-Düse, einer Druckgeschwindigkeit von 35 mm/s und Buchenholzfasern mit einer Länge von 1 bis 3 mm gefertigt. Der erzeugte Druckkörper erreichte Abmessungen von etwa 370 × 280 × 155 mm, ein Gewicht von rund 3,8 kg und ein Druckvolumen von 16.058 cm³. Damit wurde die grundsätzliche Skalierbarkeit des Druckverfahrens vom Probekörper zum großformatigen Bauteil nachgewiesen.

Abbildung 2: Demonstrator als Vision/ Kommunikator des Projektziels für frühe Workshopformate

Eine zentrale Herausforderung stellte der geometrische Verzug während der Trocknung dar. Durch die Materialschwindung kam es insbesondere bei hohen, dünnwandigen Strukturen zu Verformungen. Zur Kompensation wurden unterschiedliche Verstärkungs- und Abstützkonzepte untersucht. Hierzu gehörten punktuell und schichtweise integrierte Holzstäbe sowie additiv gefertigte Stützgitter. Als erfolgversprechend erwies sich die Kombination einer druckgerechten Bauteilkonstruktion mit einer gezielten Zug- und

Druckverstärkung. Für den großformatigen Demonstrator wurden Fichtenholzstäbe in den Druckkörper integriert. Die anschließende Trocknung erfolgte bei 110 °C über einen Zeitraum von 60 Stunden.

Im Rahmen der Kultivierungsversuche wurden verschiedene Temperatur-, Feuchtigkeits- und Belüftungsbedingungen untersucht. Dabei zeigten sich qualitative Zusammenhänge zwischen den Umgebungsbedingungen und der Ausprägung des Myzelwachstums. Niedrigere Temperaturen von etwa 22 °C und eine hohe Luftfeuchtigkeit begünstigten tendenziell ein stärkeres, schaumartiges Wachstum an der Oberfläche. Höhere Temperaturen von etwa 26 °C beziehungsweise eine geringere Luftfeuchtigkeit führten zu einer schnelleren Austrocknung der Oberfläche und begünstigten eher ein Wachstum innerhalb des Substrats. Damit konnte grundsätzlich gezeigt werden, dass sich unterschiedliche Wachstumsformen durch veränderte Kultivierungsbedingungen anregen lassen.

Die Wachstums- und Kultivierungsversuche waren jedoch mit deutlichen Streuungen im Kultivierungserfolg und in der Ausprägung der myzelbasierten Schaumschicht behaftet. Auch bei nominell gleichen Ausgangs- und Umgebungsbedingungen entwickelten sich die biologischen Proben unterschiedlich. Eine Prozesskette, die zu einem gleichbleibenden Myzelwachstum sowie zu einer homogenen und reproduzierbaren Schaumausbildung führt, konnte daher innerhalb des Vorhabens nicht identifiziert werden. In der Folge war es nicht möglich, eine ausreichende Anzahl vergleichbarer Materialproben mit definierten Oberflächen- und Materialeigenschaften herzustellen. Die ursprünglich vorgesehene akustische Vermessung reproduzierbarer Probenserien konnte deshalb nicht belastbar durchgeführt werden. Entsprechend ließ sich der Zusammenhang zwischen Kultivierungsparametern, Schaumausbildung und Schallabsorptionsgrad nicht quantitativ bestimmen. Das Ziel, lokal differenzierte schallabsorbierende und schallreflektierende Bereiche reproduzierbar in einem Bauteil einzustellen und messtechnisch nachzuweisen, wurde somit nicht erreicht.

Neben den biologisch bedingten Streuungen wurden weitere technisch relevante Grenzen identifiziert. Kleinere Düsendurchmesser von 2 mm waren für die entwickelte Paste nicht geeignet, da gequollene und zu grobe Substratbestandteile wiederholt zu Düsenverstopfungen führten. Eine längere Quellzeit der fertig gemischten Paste, beispielsweise über Nacht, verbesserte die Verarbeitung ebenfalls nicht. Stattdessen nahm die Fließneigung zu und die Druckqualität verschlechterte sich. Daraus wurde abgeleitet, dass die Paste möglichst unmittelbar vor der Verarbeitung anzumischen ist. Auch das Drucken ohne zusätzliche Verstärkungs- oder Stützstrukturen führte beim Trocknen nicht zu dauerhaft formstabilen Bauteilen. Diese Ansätze wurden daher nicht weiterverfolgt beziehungsweise durch konstruktive Verstärkungsmaßnahmen ersetzt.

Der Austausch zwischen technischer Entwicklung und Transfer erfolgte während der gesamten Projektlaufzeit iterativ. Neue Entwicklungsstände und Zwischenergebnisse wurden von HAUTE INNOVATION fortlaufend in Vorträge, Präsentationen und weitere Kommunikationsformate übernommen. Dadurch konnten externe Interessierte den Projektfortschritt kontinuierlich verfolgen und frühzeitig Rückmeldungen zu möglichen Anwendungen und Anforderungen geben. Das frühe Öffnen des Forschungsprozesses nach außen erwies sich als besonders effizient, da Kontakte, Fachwissen und Nutzeranforderungen bereits während der Entwicklung und nicht erst nach Projektende einbezogen werden konnten.

Zwischenergebnisse, Materialproben und Demonstratoren wurden außerdem auf Messen, in Ausstellungshäusern und im Rahmen weiterer öffentlicher Veranstaltungen präsentiert. Die Verbindung aus Ausstellung, Vortrag, Live-Demonstration und direktem Anwendergespräch diente dazu, die Technologie verständlich zu vermitteln, neue Anwendungsideen zu diskutieren und potenzielle Kooperationspartner anzusprechen. Zum Abschluss des Gesamtprojekts wurden die entstandenen Demonstratoren, der Entwicklungsverlauf und die gewonnenen Erkenntnisse im Rahmen einer gemeinsamen Abschlussveranstaltung im Rahmen des WDC (World Design Capital, Frankfurt RheinMain 2026) vorgestellt. Der finale Mycoustics-Demonstrator ist zudem bis Sommer 2027 im Futurium in Berlin ausgestellt.

1.1 Ausgangslage des Vorhabens

1.1.1. Ursprüngliche Aufgabenstellung

Gesamtziel des Innovationssprints	Ziel des Gesamtvorhabens ist es, eine neue Verfahrensprozesskette zur formwerkzeuglosen Produktion von Bauteilen mit sowohl schallabsorbierenden als auch schallreflektierenden Eigenschaften aus Myzelwerkstoff, zu entwickeln. Mit der konkreten Produkt- und Technologieanwendungen im Bereich von Akustikgerätegehäusen, speziell der Entwicklung eines Transmissionline-Gehäuses als anwendungsnahen Demonstrators, soll ein Transfer des Myzelwerkstoffes und der entwickelten Technologie ermöglicht werden. Kerngedanke ist die Verstetigung von zirkularen 3D Druck Myzelmaterialien für eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft auch in bisher unbesetzten Anwendungsbereichen, wie der Audio-Industrie.
Beitrag des Teilprojekts A „Verfahrensprozesskette“	Das Ziel des Teilprojektes A „Verfahrensprozesskette“ ist die wissenschaftliche und technische Umsetzung des Gesamtvorhabens durch Konstruktion, Simulation, Technologie- und Werkstoffentwicklung, sowie Umsetzung und Validierung der Testgeometrien und des Demonstrators.
Beitrag des Teilprojekts B „Innovationstransfer und Technologiekommunikation“	Das Ziel des Teilprojektes B „Innovationstransfer und Technologiekommunikation“ ist eine gezielte Wissenschaftskommunikation, um neue Anwendungsbereiche zu erschließen und einen Wirtschaftstransfer anzubahnen. Dies soll durch Messeauftritte, Fachvorträge und Publikationen erfolgen.

1.1.2. Ursprüngliche wissenschaftliche und/oder technische Arbeitsziele

Geplante konkrete Arbeitsziele: Teilprojekt A
▪ Formstabile Druckkörper aus lebendmyzelhaltiger Paste ▪ Mit Pilzmyzel bewachsene 3D-gedruckte Objekte ▪ Kultiviertes Pilzmyzel mit deutlich verschiedenen Schallabsorptionsgraden ▪ Prozessstrategie zur Herstellung von 3D-gedruckten und gezielt myzelbewachsenen Proben ▪ 3D-gedrucktes Funktionsmuster eines Transmissionline-Gehäuses
Geplante konkrete Arbeitsziele: Teilprojekt B
▪ Trendanalyse 3D Druck Myzel ▪ Elf durchgeführter Präsenz Veranstaltungen: vier Messen, fünf Workshops, zwei Ausstellungen ▪ Mindestens neun auffindbare digitaler Veröffentlichungen: fünf Online-Artikel auf der Haute-Innovation – Website + Social Media Beiträge, ein Artikel für Magazin MD Interieur, drei Beiträge auf der Website des 3D-Druck Verbands

1.1.3. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Myzelbasierte Werkstoffe galten zu Projektbeginn als vielversprechende Alternative zu konventionellen Kunststoffen und Schäumen. Sie können aus unterschiedlichen organischen Reststoffen hergestellt werden, sind biologisch abbaubar und weisen eine geringe Dichte sowie einen vergleichsweise niedrigen Energiebedarf bei der Verarbeitung auf. Erste Anwendungen bestanden bereits in den Bereichen Verpackung, Einrichtung, Bauprodukte und Lederersatz. Die Formgebung erfolgte jedoch überwiegend durch das Wachstum in Formen, wodurch die herstellbare Bauteilkomplexität begrenzt war.

Forschungsarbeiten hatten bereits die grundsätzliche Verarbeitung lebendmyzelhaltiger Substrate mittels Pastenextrusionsdruck gezeigt. Die Untersuchungen erfolgten jedoch überwiegend im Labormaßstab. Wesentliche Herausforderungen bestanden in der Kontamination durch Fremdorganismen, der geringen Formstabilität während Druck und Trocknung sowie der fehlenden Reproduzierbarkeit der biologisch beeinflussten Bauteileigenschaften. Eine Prozesskette zur großformatigen, formwerkzeuglosen Herstellung myzelbasierter Bauteile mit gezielt lokal veränderbaren Eigenschaften war noch nicht verfügbar.

Das Fraunhofer IWU knüpfte an Ergebnisse der internen Vorhaben MycoLiv und MyZellPrint an. Darin waren Pilzmyzel auf unterschiedlichen Substraten kultiviert, erste Oberflächen mit weichen beziehungsweise festen Eigenschaften erzeugt und Voruntersuchungen zur mechanischen Eignung von Substraten für den 3D-Druck durchgeführt worden. Ergänzend flossen die Kompetenzen des Instituts in der generativen Fertigung, der Entwicklung spezieller Werkzeugköpfe, der Funktionsintegration und der Akustik in das Vorhaben ein.

HAUTE INNOVATION brachte Erfahrungen im Innovations- und Wissenstransfer an der Schnittstelle von Biologie, Technologie und Design sowie im Bereich zirkulärer Werkstoffe ein. Darauf aufbauend sollten die Material- und Technologieentwicklung kommunikativ begleitet, Anwendungsszenarien entwickelt und die Ergebnisse über Messen, Ausstellungen, Workshops und Publikationen für potenzielle Anwender aus Audioindustrie, Interieur, Design und Werkstoffentwicklung zugänglich gemacht werden.

Das Vorhaben setzte somit an der Lücke zwischen ersten laborseitigen Druckversuchen mit lebenden Myzelmaterialien und einer skalierbaren, hygienisch beherrschten und anwendungsnahen Fertigung komplexer Bauteile an. Der neue Ansatz bestand insbesondere darin, Pastenrezeptur, Drucktechnik, Kultivierung und Trocknung zu einer durchgängigen Prozesskette zu verbinden und das Myzelwachstum zur gezielten Erzeugung schallabsorbierender und schallreflektierender Bereiche innerhalb eines Bauteils zu nutzen. Als anwendungsnaher Nachweis war ein formwerkzeuglos hergestelltes Transmissionline-Gehäuse vorgesehen.

1.2 Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben wurde in enger Zusammenarbeit zwischen dem Fraunhofer IWU und HAUTE INNOVATION durchgeführt. Das Fraunhofer IWU koordinierte das Gesamtvorhaben und bearbeitete die Material-, Verfahrens- und Demonstratorentwicklung. HAUTE INNOVATION begleitete den Projektverlauf durch Technologiekommunikation, Anwenderdialog und die Erschließung potenzieller Transferfelder.

Bereits frühzeitig wurden erste Druckpasten, Materialproben und technologische Ansätze in Workshops mit potenziellen Anwendern vorgestellt. Die dabei gewonnenen Rückmeldungen flossen fortlaufend in die weitere Material- und Prozessentwicklung ein. Ein besonderer Schwerpunkt lag auf der Diskussion möglicher Bauteilanwendungen sowie der Anforderungen an Geometrie, Formtreue, Maßhaltigkeit, Oberflächenqualität und praktische Umsetzbarkeit. Diese Anforderungen wurden bei der weiteren Bauteil- und Prozessauslegung berücksichtigt.

Durch die Workshops, Messeauftritte und öffentlichen Präsentationen entstanden zudem Kontakte zu weiteren Forschenden und Fachleuten, die an vergleichbaren Verfahren, am 3D-Druck mit Holzwerkstoffen oder an großformatigen Bauteilen arbeiteten. Der wissenschaftlich-technische Austausch ermöglichte es, Erfahrungen aus verwandten Entwicklungsansätzen aufzunehmen und in die laufenden Arbeiten einfließen zu lassen. Dies trug zur Qualitätssteigerung und zu einem agilen, an neuen Erkenntnissen ausgerichteten Projektverlauf bei.

Der Austausch zwischen technischer Entwicklung und Transfer erfolgte während der gesamten Projektlaufzeit iterativ. Neue Entwicklungsstände und Zwischenergebnisse wurden von HAUTE INNOVATION fortlaufend in Vorträge, Präsentationen und weitere Kommunikationsformate übernommen. Dadurch konnten externe Interessierte den Projektfortschritt kontinuierlich verfolgen und frühzeitig Rückmeldungen zu möglichen Anwendungen und Anforderungen geben. Das frühe Öffnen des Forschungsprozesses nach außen erwies sich als besonders effizient, da Kontakte, Fachwissen und Nutzeranforderungen bereits während der Entwicklung und nicht erst nach Projektende einbezogen werden konnten.

Zwischenergebnisse, Materialproben und Demonstratoren wurden außerdem auf Messen, in Museen und im Rahmen weiterer öffentlicher Veranstaltungen präsentiert. Die Verbindung aus Ausstellung, Vortrag, Live-Demonstration und

direktem Anwendergespräch diente dazu, die Technologie verständlich zu vermitteln, neue Anwendungsideen zu diskutieren und potenzielle Kooperationspartner anzusprechen. Zum Abschluss des Gesamtprojekts wurden die entstandenen Demonstratoren, der Entwicklungsverlauf und die gewonnenen Erkenntnisse im Rahmen einer gemeinsamen Abschlussveranstaltung vorgestellt.

1.3 Ergebnisse des Vorhabens

1.3.1. Wesentliche Ergebnisse

Im Projekt wurde die formwerkzeuglose Herstellung myzelhaltiger Holzbauteile grundsätzlich nachgewiesen. Dafür wurden unterschiedliche Pastenrezepturen, zwei angepasste Drucksysteme sowie Prozessstrategien für lebendmyzelhaltige und langfaserverstärkte Pasten entwickelt. Ein bewachsener Demonstrator im Maßstab 1:5 und ein großformatiger Demonstrator im Maßstab 1:1 wurden erfolgreich hergestellt. Zusätzliche Ergebnisse waren Lösungen zur Verstärkung, Verzugskompensation und Verbesserung der Z-Dimensionsstabilität.

Die Ziele zur Materialentwicklung, Drucktechnik, Skalierung und Demonstratorfertigung wurden weitgehend erreicht. Nicht erreicht wurden eine reproduzierbare Schaumausbildung und die akustische Validierung, da Myzelwachstum und Probenqualität erheblich streuten. Die Transferziele wurden umfassend erfüllt: Die Ergebnisse wurden auf 6 Messen, in 3 Ausstellungshäusern, auf 5 Konferenzen, in insgesamt 20 nationalen und internationalen Vorträgen sowie in 5 Workshops präsentiert und diskutiert. Ergänzend wurden mindestens 9 Fach- und Onlinebeiträge veröffentlicht. Der finale Demonstrator ist noch bis Sommer 2027 im Futurium Berlin ausgestellt. Durch die Kombination aus Demonstratorpräsentation, Live-Druck und Anwenderdialog wurden neue Anwendungen in Akustik, Bau, Möbel- und Innenausbau, Fahrzeuginterieur und Messebau identifiziert.

1.3.2. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Über den Projektverbund hinaus bestand ein intensiver fachlicher Austausch mit dem ebenfalls im Rahmen von DATIpilot geförderten Projekt addwood, das sich mit dem 3D-Druck holzbasierter Werkstoffe befasste. Die Projektteams besuchten sich gegenseitig und tauschten Erfahrungen zu Pastenrezepturen, Drucktechnik, Materialförderung, Formstabilität und Skalierung aus. Dabei wurden die Vor- und Nachteile der jeweiligen Material- und Prozessansätze offen diskutiert. Darüber hinaus wurde ein gemeinsamer Workshop durchgeführt, bei dem beide Verfahren vorgestellt, live demonstriert und gemeinsam mit potenziellen Anwendern bewertet wurden.

Aus dem Austausch mit addwood wurde eine klare technologische Abgrenzung der beiden Vorhaben abgeleitet. mycoustics konzentrierte sich anschließend verstärkt auf die Verarbeitung längerer Holzfasern, den großformatigen Druck von Holzpasten und deren Kombination mit lebendem Myzel. Hierfür wurde eine eigenständige Pasten- und Substratzusammensetzung entwickelt, die auf die Kultivierbarkeit des Myzels sowie auf die Extrusion und Formstabilität großformatiger Bauteile ausgerichtet war. Der Austausch trug damit sowohl zur fachlichen Profilierung des Vorhabens als auch zur gezielten Weiterentwicklung des Material- und Prozessansatzes bei.

Weitere Kooperationen entstanden bei der Aufbereitung und Fraktionierung der holzbasierten Ausgangsmaterialien. Wie in Kapitel 5 der Vorhabenbeschreibung vorgesehen, wurden externe Unternehmen und deren Technologien zur Zerkleinerung, Mahlung und Bereitstellung definierter Holzfaserlängen einbezogen. Unterschiedliche Aufbereitungsverfahren und Faserfraktionen wurden erprobt, um die Anforderungen an Extrudierbarkeit, Kultivierbarkeit und Formstabilität miteinander zu verbinden. Daraus entstanden neue Partnerschaften mit Unternehmen aus den Bereichen Faseraufbereitung, Mahltechnik und biogene Materialien. Diese Zusammenarbeit unterstützte insbesondere die Entwicklung langfaserhaltiger Pasten für den großformatigen Druck.

HAUTE INNOVATION arbeitete zudem eng mit Messeveranstaltern, Ausstellungshäusern, Museen und Workshoporganisatoren zusammen. Diese Kooperationen ermöglichten die Präsentation von Materialproben, Druckverfahren und Demonstratoren sowie die Durchführung von Live-Druckvorführungen und direkten Gesprächen mit potenziellen Anwendern. Die externen Partner stellten geeignete Veranstaltungs- und Ausstellungsformate bereit und ermöglichten

den Zugang zu relevanten Zielgruppen. Das dabei gewonnene Feedback zu Bauteilgeometrie, Formtreue, Oberflächenqualität und möglichen Anwendungen floss fortlaufend in die technische Entwicklung ein.

Die ursprünglich vorgesehene externe akustische Vermessung wurde fachlich vorbereitet. Gemeinsam mit der vorgesehenen Messstelle wurden die verfügbaren Proben sowie deren Anzahl, Beschaffenheit und Eignung für eine akustische Charakterisierung erörtert. Aufgrund der geringen Probenanzahl und der starken Streuungen hinsichtlich Myzelwachstum, Schaumausbildung, Oberflächenstruktur und Materialbeschaffenheit war keine belastbare quantitative Bestimmung der akustischen Eigenschaften möglich. Einzelmessungen hätten keine verlässliche Zuordnung zwischen den Kultivierungsbedingungen und dem jeweiligen Schallabsorptionsgrad erlaubt. Daher wurde einvernehmlich entschieden, die Messungen zum damaligen Entwicklungsstand nicht durchzuführen und zunächst die Herstellung reproduzierbarer Probenserien weiterzuverfolgen. Die im Antrag vorgesehene Zusammenarbeit zur akustischen Vermessung wurde somit inhaltlich vorbereitet und abgestimmt, jedoch aus wissenschaftlich-methodischen Gründen nicht praktisch umgesetzt.

Insgesamt ging die tatsächliche Zusammenarbeit über die ursprünglich vorgesehenen Unteraufträge zur Faseraufbereitung und akustischen Vermessung hinaus. Insbesondere der Austausch mit addwood, den Unternehmen zur Substrat- und Faseraufbereitung, der vorgesehenen akustischen Messstelle sowie den Veranstaltungs- und Transferpartnern leistete einen wichtigen Beitrag zur technischen Weiterentwicklung, zur fachlichen Abgrenzung des Verfahrens und zur branchenübergreifenden Verwertung der Projektergebnisse.

Eingehende Darstellung

2 **1. Material- und Pastenentwicklung**

Zu Beginn des Vorhabens wurde mit einer in der zugehörigen Abbildung dargestellten Grundrezeptur gearbeitet. Diese bestand im Wesentlichen aus Holzbestandteilen, Wasser und Flohsamenschalen sowie lebendem Myzel des Austernseitlings. Bei den ersten Versuchen konnte jedoch nicht zuverlässig sichergestellt werden, dass die Flohsamenschalen vollständig sterilisiert waren. Da sie als mögliche Kontaminationsquelle bewertet wurden, wurden sie im weiteren Projektverlauf aus der Rezeptur entfernt.

Die vereinfachte Mischung aus Holzbestandteilen und Wasser wies anschließend eine unzureichende innere Bindung auf. Während des Druckprozesses wurde Wasser aus der Masse herausgedrückt, wodurch eine gleichmäßige Förderung und Ablage der Paste erschwert wurde. Deshalb wurden verschiedene natürliche beziehungsweise biobasierte Bindemittel recherchiert und untersucht. Hierzu gehörten insbesondere Tapetenkleister, Xanthan und Roggenmehl.

Zunächst wurde Tapetenkleister als Bindemittel eingesetzt. Dieser verbesserte zwar den Zusammenhalt der Paste während des Druckens, führte nach der Trocknung jedoch zu einer vergleichsweise spröden Bauteilstruktur. Dabei traten Risse und geometrischer Verzug auf. In weiteren Versuchsreihen wurden deshalb Xanthan und Roggenmehl ergänzt und der Anteil des Tapetenkleisters schrittweise reduziert. Durch die sukzessive Anpassung der Mischungsverhältnisse konnten die Verarbeitbarkeit der Paste sowie die Qualität, Formstabilität und Nachbearbeitbarkeit der getrockneten Bauteile verbessert werden.

Im Projektverlauf wurden zwei unterschiedliche Material- und Prozessrouten entwickelt. Die erste Route war auf lebendmyzelhaltige Pasten, kontrollierte hygienische Bedingungen und die Herstellung eines Demonstrators im Maßstab 1:5 ausgerichtet. Die zweite Route fokussierte die großformatige Verarbeitung faserhaltiger Holzpasten und die Herstellung eines Demonstrators im Maßstab 1:1. Für beide Drucksysteme wurden unterschiedliche Faserlängen eingesetzt und die Pastenzusammensetzungen jeweils an Kultivierbarkeit, Extrudierbarkeit, Fördertechnik und erforderliche Formstabilität angepasst.

Zu Beginn kamen Fichtenholzbestandteile in verschiedenen Faserlängen zum Einsatz. Im weiteren Projektverlauf wurde auf Buchenholz umgestellt. Dadurch konnten eine höhere Festigkeit der gedruckten Bauteile und zugleich bessere Bedingungen für das Wachstum des Austernseitlings erreicht werden. Für die großformatige Prozessroute wurden außer-

dem längere Fasern und unterschiedliche Zusätze zur Einstellung beziehungsweise Beschleunigung der Pastenverfestigung untersucht. Dadurch sollte insbesondere bei hohen Bauteilen ein Absinken oder Ausbeulen der bereits gedruckten Schichten vermieden werden.

Als wesentliches Ergebnis wurde eine Material- und Prozesskombination entwickelt, die den schichtweisen Aufbau großformatiger Geometrien mit hoher Stabilität in Z-Richtung ermöglichte. Gleichzeitig zeigte sich, dass keine einzelne Universalrezeptur alle Anforderungen gleichermaßen erfüllen konnte. Für lebendmyzelhaltige, kultivierbare Bauteile und für großformatige, langfaserverstärkte Strukturen waren jeweils angepasste Pastenrezepturen und Prozessparameter erforderlich.

2. Aufbau und Anpassung der Drucktechnik

Für die beiden Entwicklungsrouten wurden zwei unterschiedliche Drucksysteme aufgebaut und an die jeweiligen Material- und Prozessanforderungen angepasst.

Abbildung 3: Benchmarktabelle der technischen Modifizierungen und Performance/ Spezifikation nach Umbau

Einsatzzweck	1:5 Demonstratoren, Livevorführungen, Myzel 3D Druck in biomechanischer Sicherheitswerkbank	1:1 Demonstrator, Skalierung
Hardwarebasis	TRONXY Moore 2	Stoneflower 4.0
Performance/ Spezifikation vor Umbau	• "Bowden Tank" mit 20 cm Zuleitung • Keine Förderung möglich, Staudruck zu groß	• Spindelantrieb (Druck nicht ausreichend) • Materialreservoir 3 Kg • Geschwindigkeit: 10 mm/s • Düse: 5 mm
Umbaumaßnahmen	Neukonstruktion und Fertigung Extruder insbesondere Materialreservoir und Einlaufzone	Integration WASP Extruder, Anpassungen Einlaufzone und Umbau auf pneumatische Förderung
Performance/ Spezifikation nach Umbau **1TE AUSBAUSTUFE**	• vertikale Materialzufuhr • direkte Druckbeaufschlagung am Extruder • 0-0,5mm Faserlänge • fragiler Druck mit 15-20mm/s bei 4mm Düse • Teils unregelmäßiger Materialfluss	• Förderdruck bis max 3 Bar • Zerstörung des Drucksystems • häufige Druckabbrüche
Performance/ Spezifikation nach Umbau **2TE AUSBAUSTUFE**	• horizontale Materialzufuhr • Modifikation Druckzylinders auf Druckkolben mit direkter Druckbeaufschlagung • 0-0,5mm Faserlänge • stabiler Druck mit 15-20mm/s bei 4mm Düse	• Förderdruck bis max 7 Bar • Materialreservoir 5 Kg • stabiler Druck mit 35mm/s bei 8mm Düse • 0-2,5mm Faserlänge

Für die Verarbeitung lebendmyzelhaltiger Pasten wurde der Tronxy Moore 2 als kompakter Drucker ausgewählt, der innerhalb einer biologischen Sicherheitswerkbank betrieben werden konnte.

Parallel wurde ein größeres Drucksystem (Stoneflower 4.0) für die Herstellung großformatiger Bauteile und des Demonstrators im Maßstab 1:1 aufgebaut. Dieses System wurde insbesondere für Pasten mit größeren Holzfaserlängen ausgelegt. Dabei wurden Materialdepot, Materialführung, Werkzeugkopf und Düsengeometrie an die rheologischen Eigenschaften und die faserhaltige Zusammensetzung der Paste angepasst. Die ursprüngliche Vorhabenbeschreibung

sah bereits die Modifikation eines vorhandenen PDM-Druckers und die Anpassung von Materialdepot, Materialführung und Werkzeugkopf vor. Diese Arbeiten wurden durchgeführt und im Projektverlauf durch den Aufbau der zwei spezialisierten Druckrouten erweitert.

Für die Materialförderung wurden ein schnecken- beziehungsweise spindelbasiertes System und eine pneumatische Förderung untersucht. Die mechanische Förderung ermöglichte eine gezielte Dosierung, stellte jedoch hohe Anforderungen an die Homogenität der Paste und die zulässigen Faserlängen. Die pneumatische Förderung war konstruktiv einfacher, reagierte jedoch stärker auf Schwankungen der Pastenkonsistenz und des erforderlichen Förderdrucks. Die Versuche zeigten, dass die Auswahl der Fördertechnik von der jeweiligen Paste und dem vorgesehenen Bauteilmaßstab abhängt. Lebendmyzelhaltige Pasten und Pasten mit größeren Faserlängen stellen unterschiedliche Anforderungen an Materialführung, Düse und Extrusionsprinzip.

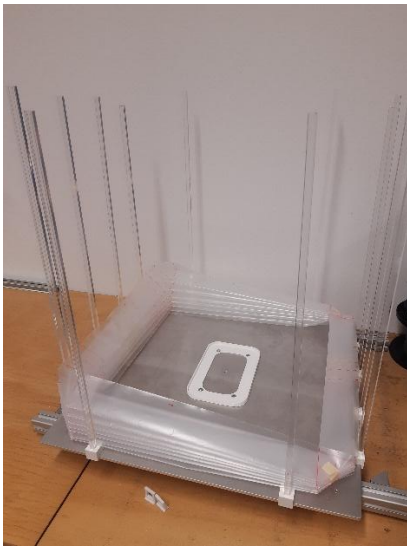
3. Hygiene- und Sterilisationskonzepte

Die Entwicklung einer hygienisch beherrschbaren Prozesskette war ein wesentlicher Bestandteil des Vorhabens. In der ursprünglichen Planung waren hierzu die Entwicklung kaltsterilisierender Pasten, die Anpassung des Druckprozesses sowie eine abgeschirmte Druckumgebung vorgesehen. Als Zielgröße wurde ein Restrisiko der Kontamination während der Kultivierung von höchstens 20 Prozent formuliert.

Im Projekt wurden mehrere Hygienestrategien untersucht. Dazu gehörten:

- die Sterilisation der Ausgangsmaterialien und aller mit der Paste in Kontakt kommenden Betriebsmittel,
- das Drucken innerhalb einer biologischen Sicherheitswerkbank,
- sterile und halbsterile Material- und Prozessführungen,
- das unmittelbare Drucken in sterile beziehungsweise sterilisierte Kultivierungsbehältnisse,
- die Reduzierung der Handhabungsschritte zwischen Druck und Kultivierung,
- die Untersuchung von Pasten mit Zusätzen zur Hemmung unerwünschter Mikroorganismen.

Für den sterilen Druck größerer Bauteile wurde zunächst untersucht, direkt in sterilisierte Behältnisse mit geöffnetem Deckel zu drucken. Dieses Vorgehen führte jedoch zu einer hohen Kontaminations- und Schimmelrate, da das Bauteil während des Druckens weiterhin gegenüber der Umgebung exponiert war. Als alternativer Ansatz wurde deshalb ein geschlossenes Folienbalgsystem konstruiert und prototypisch hergestellt. Dabei wurden der Druckraum und der Druckkopf in einen zuvor sterilisierten Folienbeutel integriert, sodass das Bauteil unmittelbar in seinem späteren Kultivierungsbehältnis gefertigt werden konnte.



Entwicklung eines Folienbalgsystems mit Führungsschienen

Konstruiertes und prototypisch hergestelltes Folienbalgsystem für sterilen 3D Druck

Installiertes Folienbalgsystem im modifizierten Drucksystem Stoneflower

Das Folienbalgsystem stellt grundsätzlich einen geeigneten Ansatz für eine geschlossene Prozessführung dar, wurde im Projekt jedoch nicht bis zu einer skalierbaren Fertigung weiterentwickelt. Eine hohe Produktionsmenge würde für jedes Bauteil einen eigenen sterilen Beutel erfordern, der während der etwa zweiwöchigen Wachstumsphase gebunden wäre. Hieraus ergäbe sich ein erheblicher Bedarf an speziell angepassten Folienbeuteln und Handhabungslösungen. Das Konzept sollte daher künftig gemeinsam mit einem geeigneten Beutelhersteller hinsichtlich Material, Schnittstellen, Sterilisierbarkeit, Wiederverwendbarkeit und wirtschaftlicher Skalierbarkeit weiterentwickelt werden.

Für den Demonstrator im Maßstab 1:5 und weitere kleinere Proben wurde ein kompakter Drucker innerhalb einer biologischen Sicherheitswerkbank betrieben. Sämtliche Materialien, Behältnisse, Werkzeuge und Zubehörteile wurden vor dem Druck möglichst vollständig sterilisiert. Diese Vorgehensweise verringerte die Kontaminationsrate deutlich gegenüber den zuvor untersuchten offenen beziehungsweise halbsterilen Verfahren. Eine vollständig reproduzierbare, kontaminationsfreie Kultivierung konnte dennoch nicht erreicht werden.

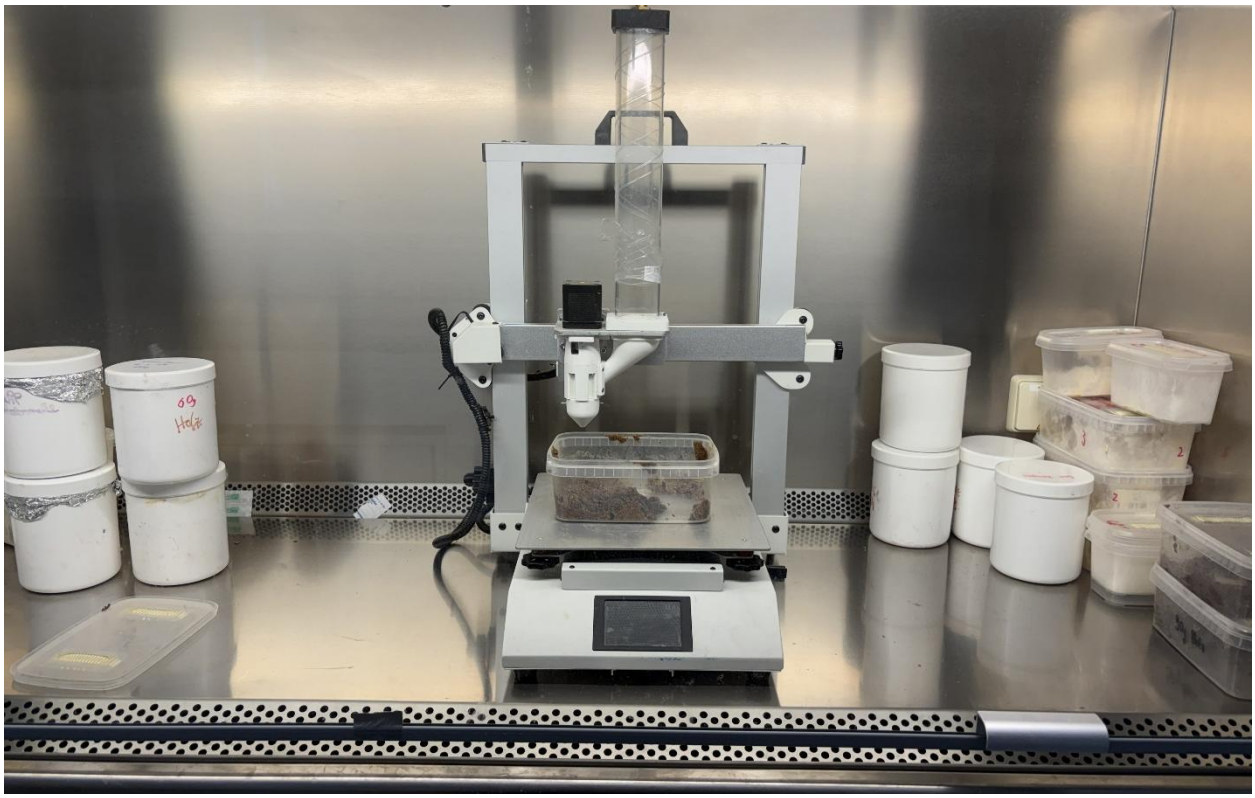


Abbildung 4: Modifizierter Tronxy Moore 2 beim Drucken eines myzelhaltigen Substrats in sterile Kultivierungsbehälter innerhalb einer biologischen Sicherheitswerkbank

Die verbleibenden Kontaminationen ließen sich innerhalb der Projektlaufzeit nicht eindeutig auf eine einzelne Ursache zurückführen. Als mögliche Einflussgrößen wurden unzureichend sterilisierte Ausgangsmaterialien oder Zubehörteile, Kontaminationen während der Pastenherstellung und Materialförderung sowie eine verminderte Vitalität des verwendeten Myzels betrachtet. Letztere könnte unter anderem durch Alterung oder ungeeignete Lagerbedingungen, beispielsweise eine zu kühle Lagerung im Kühlschrank, beeinflusst worden sein. Eine abschließende Ursachenzuordnung war aufgrund der Wechselwirkungen zwischen Material, Hygiene, Druckprozess und biologischer Qualität des Myzels nicht möglich.

Schimmelbildung wurde insgesamt als einer der kritischen Faktoren der Prozesskette identifiziert. Deshalb wurden Zusatzstoffe und Pastenzusammensetzungen untersucht, die unerwünschtes Schimmelwachstum unterdrücken sollten. Dabei zeigte sich ein grundsätzlicher Zielkonflikt: Maßnahmen, die Schimmel oder andere Fremdorganismen begrenzten, hemmten teilweise zugleich das erwünschte Myzelwachstum. Eine Materialzusammensetzung, die gleichzeitig zuverlässig druckbar, kultivierbar und dauerhaft robust gegenüber Kontaminationen war, konnte nicht mit gleichbleibendem Ergebnis hergestellt werden.

Das ursprüngliche Ziel einer reproduzierbar kontaminationsarmen Prozesskette wurde somit nur teilweise erreicht. Die Kombination aus kompaktem Drucksystem, biologischer Sicherheitswerkbank und konsequenter Sterilisation aller Materialien und Betriebsmittel bewirkte jedoch eine wesentliche Verbesserung. Die Versuche zeigten außerdem, dass Hygiene nicht als einzelner Prozessschritt betrachtet werden kann. Sie muss die gesamte Prozesskette von der Materialauswahl und Lagerung des Myzels über Aufbereitung, Mischung und Förderung bis zum Druck, zur Überführung und zur Kultivierung des Bauteils umfassen

4. Druckparameter, geometrische Formgebung, Trocknung und Verzugskompensation

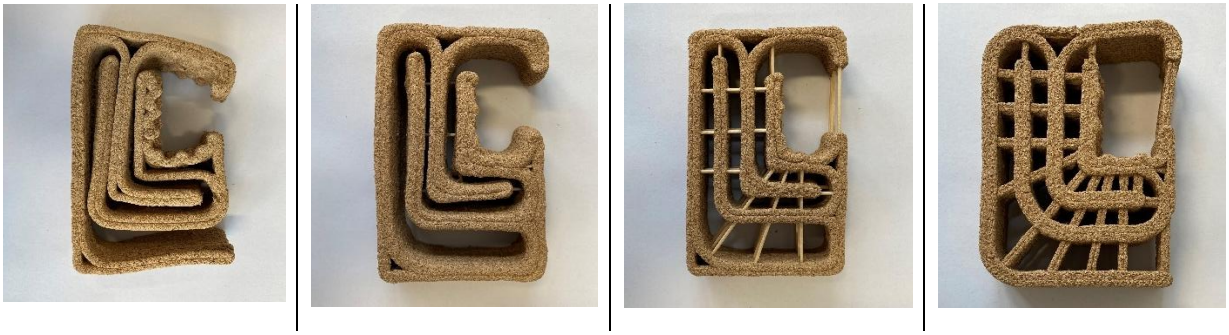
Anhand unterschiedlicher Probekörper wurden die Einflüsse von Druckgeschwindigkeit, Fördermenge, Schichthöhe, Wandbreite, Düsendurchmesser, Faserlänge und Ablagestrategie untersucht. Ergänzend wurden Krümmungen, unterschiedliche Wandhöhen, Zwischenstreben, Gitter, Hohlräume und Stützstrukturen erprobt. Ziel war die Entwicklung einer abgestimmten Druck- und Trocknungsstrategie für formstabile Bauteile.

In ersten Versuchen konnten geometrisch definierte Druckkörper mit einem Volumen von etwa 214 cm^3 hergestellt werden. Kleine Düsendurchmesser, insbesondere 2 mm, waren für die untersuchten Pasten nicht zuverlässig einsetzbar, da grobe und gequollene Substratbestandteile wiederholt zu Verstopfungen führten. Deshalb wurden größere Düsen und angepasste Faserfraktionen verwendet. Der großformatige Demonstrator wurde schließlich im Spiral- beziehungsweise Vasenmodus mit einer 8-mm-Düse, einer Druckgeschwindigkeit von 35 mm/s und Buchenholzfasern mit Längen von etwa 1 bis 3 mm gefertigt.

Auch der Zeitpunkt der Pastenherstellung beeinflusste die Verarbeitung und Bauteilqualität. Eine längere Stand- und Quellzeit der fertig gemischten Paste brachte keine Verbesserung. In der weiterentwickelten Prozessführung wurde die gesamte Paste deshalb an einem Tag in einer zusammenhängenden Charge hergestellt und unmittelbar verarbeitet. Dadurch ließen sich Unterschiede innerhalb des Bauteils reduzieren.

Die Trocknung war erforderlich, um das Myzelwachstum zu beenden, die Bauteile zu stabilisieren und eine dauerhafte Nutzung zu ermöglichen. Dabei wurden Schwindung und geometrischer Verzug als zentrale Herausforderungen identifiziert. Insbesondere hohe und dünnwandige Bauteile veränderten während der Trocknung ihre Form. Zur Begrenzung dieser Veränderungen wurden mehrere konstruktive Ansätze untersucht:

- Druck ohne zusätzliche Verstärkung als Referenz,
- punktuell integrierte Abstandsstäbe auf halber Z-Höhe,
- flächig beziehungsweise schichtweise angeordnete Holzstäbe,
- additiv gefertigte Stütz- und Zwischengitter aus Holzpaste,
- breitere Linien an Kreuzungs- und Verbindungsstellen,
- Auffüllen beziehungsweise Verstärken von Stegbereichen mit myzelhaltiger Paste,
- druckgerechte Anpassung der CAD-Geometrie,
- Kombination von Zug- und Druckverstärkungen.



Druck ohne zusätzliches Material	**Partielle Abstandsstäbe**	**Flächig angeordnete Abstandsstäbe**	**Stützgitter + Anpassung CAD**
Während des Trocknungsprozesses schrumpft die Geometrie.	Während des Druckprozesses wurden auf halber Z-Höhe Verstärkungsstreben aus Holz, hier Zahnstocher, zur Stabilisierung der Struktur eingebracht.	Während des Druckprozesses wurden in den Schichten 4, 8, 12 und 16 Verstärkungsstreben aus Holz eingebracht.	Zwischenlagen aus Holzpaste wurden additiv mittels 3D-Druck hergestellt und eingelegt. Zusätzlich wurde die Konstruktion optimiert.
Erkenntnis: Eine für den 3D-Druck im Spiral- beziehungsweise Vasenmodus optimierte Bauteilkonstruktion und die Integration von Druck- und Zugverstärkungen führen zu verbesserten Ergebnissen			

Abbildung 5: Vergleich verschiedener Verstärkungskonzepte zur Reduzierung der trocknungsbedingten Schwindung

Beim Druck ohne zusätzliche Verstärkung führte die Trocknung zu einer deutlichen Schwindung und Verformung. Punktuelle Abstandsstäbe stabilisierten einzelne Bereiche, konnten den Verzug jedoch nicht vollständig verhindern. Eine bessere Wirkung wurde durch über mehrere Ebenen verteilte Holzstäbe erzielt, die beispielsweise in den Schichten 4, 8, 12 und 16 eingebracht wurden. Zusätzlich wurden Zwischenlagen und Stützgitter aus Holzpaste additiv hergestellt und während des Druckprozesses in das Bauteil integriert. Für den großformatigen Demonstrator kamen unter anderem Fichtenholzstäbe als Verstärkungselemente zum Einsatz.

Parallel wurde die Trocknungsführung weiterentwickelt. In einer ersten Prozessroute erfolgte die Trocknung des großformatigen Demonstrators über 60 Stunden bei 110 °C. In einer weiteren Iteration wurde eine andere Klimakammer eingesetzt, die während des Trocknens die entstehende Feuchtigkeit gezielt abführte. Mit dieser verbesserten Prozessführung konnte bei 100 °C bereits nach etwa sechs Stunden ein gutes Trocknungsergebnis erzielt werden. Die kontrollierte Abführung der Feuchtigkeit erwies sich damit als wesentlicher Einflussfaktor für eine verkürzte und gleichmäßigere Trocknung.

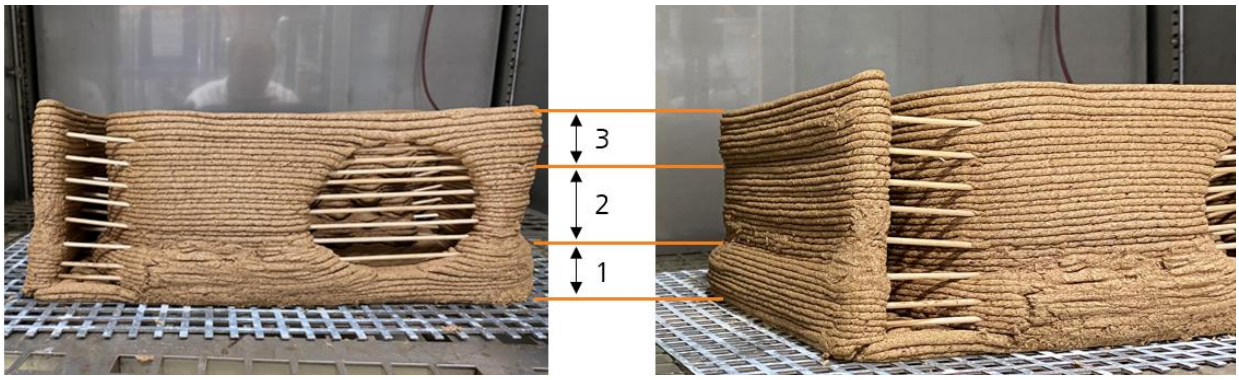


Abbildung 6: 1:1-Demonstrator mit drei separat angemischten Materialchargen. Die sichtbaren Schichtübergänge verdeutlichen den Einfluss geringer Rezeptur- und Standzeitunterschiede auf das Trocknungs- und Schwindungsverhalten.

Als zentrale Erkenntnis zeigte sich, dass Materialrezeptur, Druckparameter, Bauteilkonstruktion, Verstärkung und Trocknungsführung nicht getrennt voneinander betrachtet werden können. Eine für den Spiral- beziehungsweise Vasenmodus optimierte Geometrie sowie die Integration von Zug- und Druckverstärkungen verbesserten die Formtreue deutlich. Dadurch wurde eine hohe Dimensionsstabilität, insbesondere in Z-Richtung, erreicht. Die entwickelten Ansätze zur Verstärkung und Verzugskompensation sind auch unabhängig vom Myzelwachstum für großformatige Bauteile aus biogenen und faserhaltigen Pasten nutzbar.

5. Kultivierung und Beeinflussung des Myzelwachstums

An die Druckversuche schlossen sich Kultivierungsversuche unter unterschiedlichen Umgebungsbedingungen an. Untersucht wurden insbesondere Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Belüftung. Ziel war zunächst die Identifikation von Zusammenhängen zwischen Druck- und Kultivierungsparametern und dem Wachstumsverhalten. Darauf aufbauend sollten gezielt unterschiedliche Oberflächen und Materialeigenschaften erzeugt werden.

Qualitativ zeigte sich, dass niedrigere Temperaturen von etwa 22 °C und eine hohe Luftfeuchtigkeit tendenziell ein ausgeprägteres, schaumartiges Wachstum an der Oberfläche begünstigten. Höhere Temperaturen von etwa 26 °C oder eine geringere Luftfeuchtigkeit führten zu einer schnelleren Austrocknung der Oberfläche, wodurch das Wachstum stärker innerhalb des Substrats stattfand. Damit konnte grundsätzlich gezeigt werden, dass sich die Ausprägung des Myzelwachstums über die Kultivierungsbedingungen beeinflussen lässt.

• 26 °C • geringere Luftfeuchtigkeit • geringere Luftzufuhr	• 22 °C • hohe Luftfeuchtigkeit • geringere Luftzufuhr	• 22 °C • hohe Luftfeuchtigkeit • geringere Luftzufuhr	• 22 °C & 26°C • hohe Luftfeuchtigkeit • Luftzufuhr

Zentrale Erkenntnisse

- **Temperatur:** Niedrigere Temperaturen begünstigen ein schaumartiges Wachstum an der Oberfläche. Höhere Temperaturen trocknen das Substrat aus und fördern das Wachstum im Inneren.
- **Luftfeuchtigkeit:** Eine hohe Luftfeuchtigkeit begünstigt schaumartiges Oberflächenwachstum. Eine geringere Luftfeuchtigkeit trocknet das Substrat aus und fördert das Wachstum im Inneren.

➔ Durch eine Variation der Temperatur können unterschiedliche Wachstumsformen innerhalb einer Probe angeregt werden.

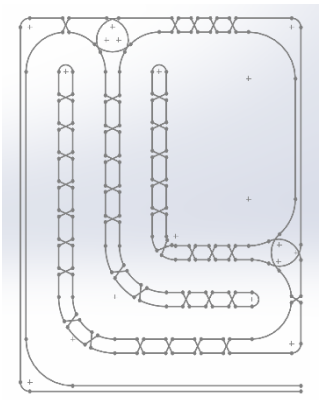
Abbildung 7: Einfluss unterschiedlicher Temperatur-, Luftfeuchtigkeits- und Belüftungsbedingungen auf die Ausbildung verschiedener Wachstumsformen innerhalb der Proben.

Die Ergebnisse waren jedoch mit erheblichen biologischen Streuungen verbunden. Auch bei nominell gleichen Ausgangsmaterialien und Umgebungsbedingungen verliefen Besiedlung, Wachstumsintensität und Schaumausbildung unterschiedlich. Eine Prozesskette, die zuverlässig zu einem gleichmäßigen Myzelwachstum und einer homogenen, reproduzierbaren Oberflächenschicht führt, konnte innerhalb der Projektlaufzeit nicht identifiziert werden.

Eine wesentliche Herausforderung lag in der erforderlichen Dauer jeder Versuchsschleife. Nach einer Änderung der Rezeptur, der Hygienestrategie oder der Kultivierungsbedingungen war eine Wachstumsphase von etwa zwei Wochen erforderlich, bevor das Ergebnis abschließend bewertet werden konnte. Erst danach konnten Anpassungen für die nächste Iteration abgeleitet werden. Dadurch war die Zahl der möglichen Entwicklungszyklen innerhalb der 18-monatigen Projektlaufzeit begrenzt. Die große inhaltliche Bandbreite zwischen Materialentwicklung, Hygiene, Drucktechnik, Kultivierung, Trocknung, Akustik und Demonstratorfertigung konnte bearbeitet werden, eine vertiefte Optimierung sämtlicher Einzelparameter war jedoch nicht möglich.

6. Herstellung des Demonstrators im Maßstab 1:5

Mit der für lebendmyzelhaltige Pasten entwickelten Prozessroute wurde ein Transmissionline-Demonstrator im Maßstab 1:5 hergestellt. Der Demonstrator wurde gedruckt, kultiviert und anschließend im Rahmen der Transfer- und Kommunikationsaktivitäten ausgestellt.



Druckpfad mit überkreuzenden Bahnen in Form eines durchgängigen „Hauses vom Nikolaus" zur Versteifung der Bauteilstruktur.

Additiv gefertigter 1:1-Demonstrator unmittelbar nach der Umsetzung des versteifenden Druckpfadkonzepts.

3D-gedruckter und kultivierter 1:1-Demonstrator mit gleichmäßigem Myzelbewuchs.

Abbildung 8: Prozesskette zur Herstellung des kultivierten 1:1-Demonstrators.

Mit diesem Demonstrator konnte gezeigt werden, dass eine geometrisch komplexere Struktur grundsätzlich aus lebendmyzelhaltiger Paste additiv gefertigt und nach dem Druck durch Myzel besiedelt werden kann. Der Demonstrator diente zugleich als Anschauungsobjekt für den Austausch mit potenziellen Anwendern und für die Kommunikation des verfolgten Material- und Prozessansatzes.

Die Herstellung des 1:5-Demonstrators erfüllte das Ziel einer kultivierten, additiv gefertigten Demonstratorgeometrie. Aufgrund der erheblichen Streuungen des biologischen Wachstums konnte daraus jedoch noch keine reproduzierbare Prozessstrategie für definierte akustische Eigenschaften abgeleitet werden.

8. Herstellung des Demonstrators im Maßstab 1:1

Auf Grundlage der zweiten Prozessroute wurde ein Transmissionline-Demonstrator im Maßstab 1:1 hergestellt. Dafür wurde eine an den großformatigen Druck angepasste Paste mit größeren Faserlängen eingesetzt. Die Konstruktion wurde für die Fertigung im Spiral- beziehungsweise Vase-Modus angepasst und durch integrierte Holzstäbe verstärkt.

Abbildung 9: Druckprozess des 1:1-Demonstrators im StoneFlower-Drucksystem während der Fertigung der vierten Schichtlage.

Abbildung 10: 1:1-Demonstrator unmittelbar nach dem 3D-Druck im StoneFlower-Drucksystem mit integrierten Fichtenholzstäben zur Stabilisierung der Bauteilgeometrie.

Der Demonstrator erreichte Abmessungen von etwa 370 × 280 × 155 mm, ein Bauteilgewicht von rund 3,8 kg und ein Druckvolumen von 16.058 cm^3. Damit wurde die Skalierung von kleineren Probekörpern auf ein großformatiges, geometrisch definiertes Bauteil erfolgreich nachgewiesen.

Das ursprüngliche Ziel, ein 3D-gedrucktes Transmissionline-Funktionsmuster herzustellen, wurde in Bezug auf Geometrie, Maßstab und Herstellbarkeit weitgehend erreicht. Die vollständige Bewertung als akustisches Funktionsmuster war jedoch nicht möglich, da keine reproduzierbaren kultivierten Materialbereiche mit definierten akustischen Eigenschaften erzeugt werden konnten.

Abbildung 11: Finaler, getrockneter 1:1 Demonstrator ohne Myzelbewuchs

9. Akustische Charakterisierung

Die ursprüngliche Vorhabenbeschreibung sah die Herstellung kultivierter Proben mit deutlich unterschiedlichen Schallabsorptionsgraden und deren Vermessung im Impedanzrohr vor. Hierfür war ein externer Auftrag an eine spezialisierte Akustikforschungseinrichtung eingeplant.

Voraussetzung für wissenschaftlich belastbare Akustikmessungen war die Herstellung mehrerer geometrisch und strukturell vergleichbarer Proben mit reproduzierbarer Oberflächen- und Schaumausbildung. Diese Voraussetzung konnte nicht erfüllt werden. Die biologischen Streuungen führten dazu, dass sich die Proben auch bei vergleichbaren Bedingungen unterschiedlich entwickelten. Messwerte einzelner, stark voneinander abweichender Proben hätten keine verlässliche Zuordnung zwischen Kultivierungsbedingungen, Materialausprägung und Schallabsorptionsgrad ermöglicht.

Aus diesem Grund wurde auf eine akustische Vermessung nicht ausreichend vergleichbarer Proben verzichtet. Die dafür vorgesehenen zeitlichen Kapazitäten wurden für zusätzliche Kultivierungsversuche und die weitere Eingrenzung der relevanten Einflussgrößen eingesetzt. Das Ziel, reproduzierbar schallabsorbierende und schallreflektierende Bereiche innerhalb eines Bauteils zu erzeugen und messtechnisch zu validieren, wurde nicht erreicht.

10. Zusammenarbeit, Anwenderdialog und Transfer

Die technische Entwicklung des Fraunhofer IWU und die Transferarbeit von HAUTE INNOVATION waren während der gesamten Projektlaufzeit eng miteinander verzahnt. Bereits in frühen Projektphasen wurden erste Druckpasten, Proben und technologische Ansätze in Workshops und Präsentationsformaten potenziellen Anwendern vorgestellt. Die dabei gewonnenen Rückmeldungen flossen iterativ in die Material-, Prozess- und Bauteilentwicklung ein.

Ein Schwerpunkt des Anwenderdialogs lag auf Anforderungen an Bauteilgeometrie, Formtreue, Maßhaltigkeit, Oberflächenqualität und praktische Umsetzbarkeit. Gemeinsam mit Teilnehmenden wurden konkrete Bauteile, Entwürfe und

Produktideen diskutiert. Dadurch konnten die Entwicklungsarbeiten stärker auf potenzielle Anwendungen ausgerichtet und weitere Einsatzfelder identifiziert werden.

Durch Messen, Workshops und öffentliche Präsentationen entstanden zudem Kontakte zu Forschenden und Fachleuten, die an vergleichbaren Verfahren, am 3D-Druck von Holzwerkstoffen oder an großformatigen Bauteilen arbeiteten. Der Austausch ermöglichte es, Erkenntnisse aus verwandten Entwicklungen aufzunehmen und in den weiteren Projektverlauf einfließen zu lassen. Das frühe Öffnen des Forschungsprozesses erwies sich als effizient, da technisches Fachwissen und Anwenderanforderungen bereits während der Entwicklung berücksichtigt werden konnten.

HAUTE INNOVATION überführte die jeweiligen Entwicklungsstände fortlaufend in Vorträge, Präsentationen, Messeauftritte und digitale Kommunikationsformate. Dadurch war der Projektfortschritt auch für externe Interessierte nachvollziehbar. Zwischenergebnisse, Materialproben und Demonstratoren wurden unter anderem auf Fachmessen, in Museen und in Workshops vorgestellt. Bei Live-Druckvorführungen konnten die Prozessschritte unmittelbar vermittelt und mit

potenziellen Anwendern diskutiert werden. Zum Abschluss des Gesamtprojekts wurden die entstandenen Demonstratoren und die wesentlichen Erkenntnisse in einer gemeinsamen Abschlussveranstaltung präsentiert.

Abbildung 12: Workshop im Grassi Museum in Leipzig am 7. Mai 2025

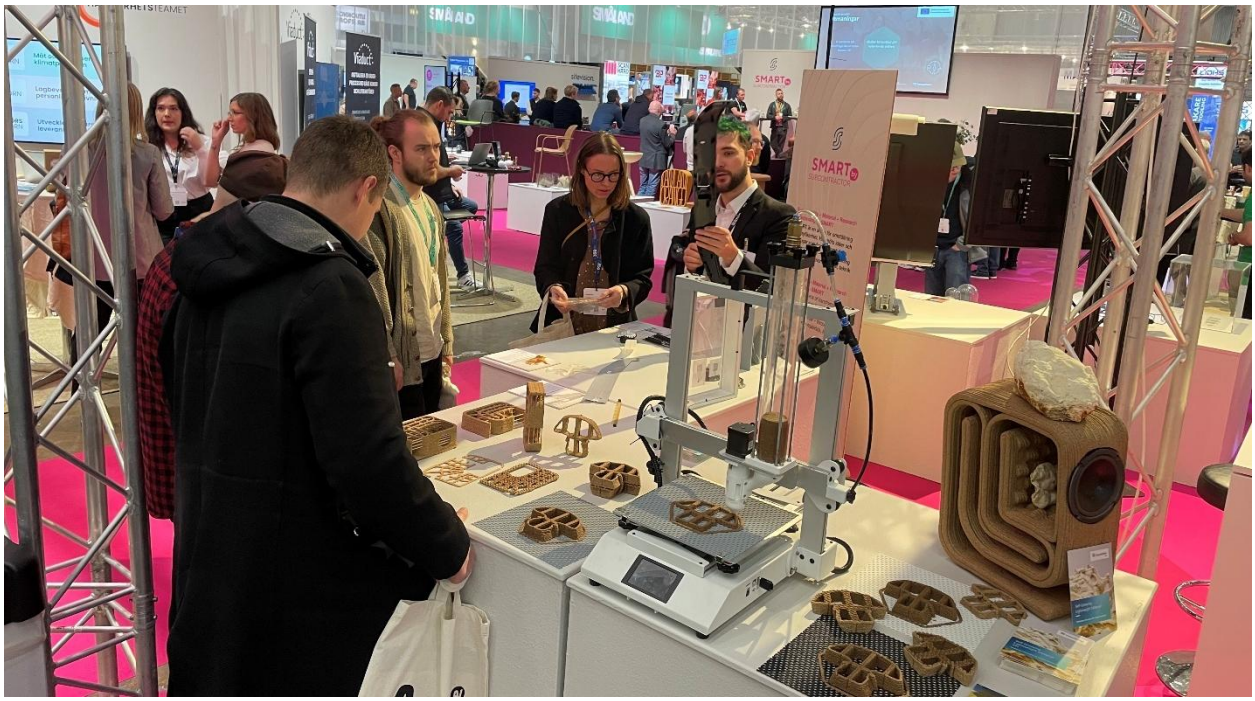


Abbildung 13: Messestand Mit Live Druck und gedruckten 1:5 und 1:1 Demonstratoren auf der ELMIA Subcontractor 2025 im November in Schweden

Abbildung 14: Prof. Dr. Sascha Peters präsentiert die mycoustics Prozesskette anlässlich der formnext 2026 am 21. November in Frankfurt

Abbildung 15: Workshop mit Live-Druck in der "Nature2Nature"-Ausstellung im Designhaus Darmstadt am 6. Februar 2026 anlässlich des WDC (World Design Capital, Frankfurt RheinMain 2026)

Abbildung 16: 1:5 und 1:1 Demonstratoren im Futurium Lab im Februar 2026

11. Zusätzliche Ergebnisse und Gesamtbewertung

Über die ursprüngliche Zielsetzung hinaus entstanden zwei spezialisierte Material- und Prozessrouten für lebendmyzelhaltige beziehungsweise großformatige, langfaserhaltige Pasten. Zusätzlich wurden die Anforderungen und Einsatzgrenzen mechanischer und pneumatischer Fördersysteme herausgearbeitet.

Besonders relevant ist die erreichte hohe Dimensionsstabilität großformatiger Bauteile in Z-Richtung. Dieses Ergebnis ist auch unabhängig vom biologischen Wachstum des Myzels verwertbar und eröffnet Anwendungsmöglichkeiten im Möbel- und Innenausbau, in der Raumakustik, im Bauwesen, im Fahrzeug- und Caravan-Interieur sowie im Messebau.

Zusammenfassend wurde die grundsätzliche Machbarkeit einer formwerkzeuglosen additiven Fertigung myzelhaltiger und biogener Holzbauteile nachgewiesen. Die Ziele zur Materialentwicklung, Drucktechnik, Skalierung und Demonstratorfertigung wurden weitgehend erreicht. Die kontrollierte und reproduzierbare Kultivierung sowie die akustische Funktionalisierung blieben dagegen hinter der ursprünglichen Zielsetzung zurück. Das Vorhaben lieferte dennoch eine belastbare technologische Grundlage und wesentliche Erkenntnisse zu den Möglichkeiten, Zielkonflikten und Grenzen einer Prozesskette für lebendmyzelhaltige und langfaserverstärkte biogene Pasten.

2.1 Durchgeführter Arbeitsplan

Arbeitspaket	Partner	abgeschlossen	nicht abgeschlossen	nicht durchgeführt
1.1 Zutaten und Rezept	Fraunhofer IWU	☒	☐	☐
2.1 Prozessentwicklung Hygiene: Paste	Fraunhofer IWU	☒	☐	☐
2.2 Prozessentwicklung Hygiene: Druckprozess	Fraunhofer IWU	☒	☐	☐

2.3 Prozessentwicklung Hygiene: Druckumgebung	Fraunhofer IWU	☒	☐	☐
3.1 Druckparameter und Druckstrukturen	Fraunhofer IWU	☒	☐	☐
3.2 Kultivierung, einheitlich	Fraunhofer IWU	☒	☐	☐
4.1 Beeinflusste Kultivierung einheitlicher Probekörper	Fraunhofer IWU	☒	☐	☐
5.1 Trocknungsprozess und Bauteilcharakterisierung	Fraunhofer IWU	☒	☐	☐
6.1 Ableitung Prozessstrategie	Fraunhofer IWU	☒	☐	☐
6.2 Herstellung Demonstrator	Fraunhofer IWU	☒	☐	☐
7.1 Trendanalyse 3D-Myzelwerkstoffe	HAUTE INNOVATION	☒	☐	☐
8.1 Ausstellungen	HAUTE INNOVATION	☒	☐	☐
8.2 Messen	HAUTE INNOVATION	☒	☐	☐
8.3 Messe-Technologiedemonstration	Fraunhofer IWU	☒	☐	☐
8.4 Publikation	HAUTE INNOVATION	☒	☐	☐
9.1 Präsentationen	HAUTE INNOVATION	☒	☐	☐
9.2 Workshops	HAUTE INNOVATION	☒	☐	☐
9.3 Workshop-Technologiedemonstration	Fraunhofer IWU	☒	☐	☐

Arbeitspaket 1.1: Zutaten und Rezept

Untersucht wurden unterschiedliche Zusammensetzungen aus Myzelsubstrat, Holzbestandteilen, Wasser, Nährstoffen und natürlichen Bindemitteln. Die Zutatenverarbeitung, insbesondere Zerkleinerung, Fraktionierung, Sterilisation und Mischung, wurde an die Anforderungen der Pastenextrusion angepasst. Dabei entstanden zwei unterschiedliche Materialrouten: eine kultivierbare Paste für den Druck mit lebendem Myzel sowie eine für größere Faserlängen und den großformatigen Druck optimierte Holzpaste.

Mindestens eine extrudierbare und formstabile Rezeptur konnte entwickelt werden. Das Ziel einer zugleich dauerhaft kontaminationsrobusten und reproduzierbar kultivierbaren Paste wurde hingegen nur teilweise erreicht. Die biologischen Ausgangsmaterialien und das Wachstum zeigten auch bei vergleichbaren Bedingungen deutliche Streuungen.

Als zusätzliche Arbeiten wurden verschiedene Zusatzstoffe zur Einstellung der Pastenverfestigung untersucht. Ferner zeigte sich, dass die Rezeptur an Drucksystem, Förderprinzip, Faserlänge und Bauteilmaßstab anzupassen ist. Eine universell für sämtliche Prozessrouten geeignete Paste konnte nicht abgeleitet werden.

Ressourcen und Abweichungen:
Erforderlich waren wissenschaftliche Arbeiten zur Rezepturentwicklung, unterstützende Laborarbeiten sowie externe Kompetenzen zur Mahlung und Fraktionierung der Holzfasern. Über die ursprünglich vorgesehene Untersuchung verschiedener Faserlängen hinaus wurde ein stärkerer Schwerpunkt auf längere Fasern für den großformatigen Druck gelegt. Die Zusammenarbeit mit Unternehmen aus den Bereichen Mahltechnik, Faseraufbereitung und biogene Materialien wurde entsprechend erweitert.

Arbeitspaket 2.1: Prozessentwicklung Hygiene, Paste

Es wurden sterile, halbsterile und kaltsterilisierende Materialstrategien untersucht. Dazu gehörten die Sterilisation der Ausgangsmaterialien, das Arbeiten mit aufbereiteten beziehungsweise halbsterilen Pasten und die Zugabe von Stoffen zur Begrenzung unerwünschten Schimmelwachstums.

Schimmel wurde als wesentlicher kritischer Faktor der biologischen Prozesskette identifiziert. Die untersuchten schimmelhemmenden Zusatzstoffe zeigten jedoch einen Zielkonflikt: Stoffe, die unerwünschtes mikrobielles Wachstum begrenzten, hemmten teilweise zugleich das gewünschte Myzelwachstum. Eine Paste, die gleichzeitig zuverlässig druckbar, kultivierbar und dauerhaft robust gegenüber Kontamination war, konnte nicht reproduzierbar hergestellt werden.

Das Arbeitspaket wurde vollständig bearbeitet, das geplante Ergebnis einer gegenüber Kontamination robusten und zugleich kultivierbaren Paste jedoch nur teilweise erreicht. Die Arbeiten lieferten wichtige Erkenntnisse zur Wechselwirkung zwischen Hygienemaßnahmen, Pastenzusammensetzung und Myzelwachstum.

Ressourcen und Abweichungen:
Neben wissenschaftlichem Personal waren umfangreiche Labor- und Kultivierungsarbeiten erforderlich. Aufgrund der biologischen Wachstumsdauer lagen die Ergebnisse einzelner Rezeptur- und Hygienetests jeweils erst nach rund zwei Wochen vor. Dadurch war die Anzahl möglicher Iterationsschleifen innerhalb der Projektlaufzeit begrenzt.

Arbeitspaket 2.2: Prozessentwicklung Hygiene, Druckprozess

Für die Verarbeitung der unterschiedlichen Pasten wurden zwei Drucksysteme aufgebaut beziehungsweise angepasst. Ein kompakter Drucker wurde so eingerichtet, dass er innerhalb einer biologischen Sicherheitswerkbank betrieben werden konnte. Damit wurde eine Verarbeitung lebendmyzelhaltiger Pasten unter kontrollierten hygienischen Bedingungen ermöglicht.

Parallel wurde ein größeres Drucksystem für langfaserhaltige Pasten und die Herstellung des Demonstrators im Maßstab 1:1 aufgebaut. Materialdepot, Materialführung, Werkzeugkopf und Düsengeometrie wurden an die jeweiligen Pastenzusammensetzungen angepasst.

Für die Materialförderung wurden ein schnecken- beziehungsweise spindelbasiertes System und eine pneumatische Förderung untersucht. Das mechanische System ermöglichte eine kontrollierte Materialdosierung, stellte aber höhere Anforderungen an Homogenität und Faserlänge. Die pneumatische Förderung war konstruktiv einfacher, reagierte jedoch stärker auf Schwankungen der Pastenkonsistenz und des erforderlichen Förderdrucks.

Das Ziel einer drucktechnischen Anpassung wurde erreicht. Ein vollständig steriler Gesamtprozess ließ sich jedoch nicht allein durch die Modifikation der Anlagentechnik sicherstellen, da zusätzliche Kontaminationen während Materialaufbereitung, Handhabung und Kultivierung auftreten konnten.

Ressourcen und Abweichungen:

Neben wissenschaftlichem Personal war technisches Personal für Konstruktion, Aufbau und Anpassung der beiden Drucksysteme erforderlich. Gegenüber der ursprünglichen Planung wurde nicht nur ein bestehendes System modifiziert, sondern es wurden zwei spezialisierte Prozessrouten für unterschiedliche Material- und Bauteilanforderungen aufgebaut.

Arbeitspaket 2.3: Prozessentwicklung Hygiene, Druckumgebung

Für die kleinformatige, lebendmyzelhaltige Prozessroute wurde der Druck innerhalb einer biologischen Sicherheitswerkbank untersucht. Ergänzend wurden unterschiedliche Vorgehensweisen zur sterilen beziehungsweise halbsterilen Handhabung erprobt. Dazu gehörten die vorherige Sterilisation von Betriebsmitteln und Behältnissen, das direkte Drucken in sterile Kultivierungsbehälter sowie die Reduzierung manueller Handhabungsschritte zwischen Druck und Kultivierung.

Das Ziel einer kontrollierten Druckumgebung wurde technisch umgesetzt. Das ursprünglich angestrebte maximale Kontaminationsrisiko von 20 Prozent konnte jedoch nicht über alle Material-, Geometrie- und Kultivierungsvarianten reproduzierbar nachgewiesen werden. Die Versuche zeigten, dass eine hygienische Druckumgebung wichtig ist, Kontaminationen jedoch nicht ausschließlich während des Druckvorgangs entstehen. Die gesamte Kette von der Materialaufbereitung bis zur Kultivierung muss berücksichtigt werden.

Ressourcen und Abweichungen:

Erforderlich waren technische Anpassungen des kompakten Drucksystems, Laborzeit innerhalb der Sicherheitswerkbank sowie zusätzliche Behältnisse und Betriebsmittel für sterile und halbsterile Versuche. Anstelle eines separaten mobilen Reinraumzelts wurde schwerpunktmäßig die vorhandene biologische Sicherheitswerkbank als kontrollierte Arbeitsumgebung genutzt.

Arbeitspaket 3.1: Druckparameter und Druckstrukturen

Die Einflüsse von Druckgeschwindigkeit, Fördermenge, Schichthöhe, Wandbreite, Düsendurchmesser, Faserlänge und Pfadstrategie wurden anhand verschiedener Probekörper untersucht. Zusätzlich wurden gekrümmte Geometrien, unterschiedliche Wandhöhen, Zwischenstege, Hohlräume, Gitter und Stützelemente erprobt.

Kleinere Düsendurchmesser waren für Pasten mit groben oder gequollenen Bestandteilen nicht zuverlässig einsetzbar. Daher wurden größere Düsen und angepasste Faserfraktionen verwendet. Für den Demonstrator im Maßstab 1:1 wurde eine großformatige Prozessstrategie mit Spiral- beziehungsweise Vase-Modus, einer 8-mm-Düse, einer Druckgeschwindigkeit von 35 mm/s und Buchenholzfasern mit einer Länge von etwa 1 bis 3 mm umgesetzt.

Das Ziel einer Druckstrategie für formstabile Körper wurde erreicht. Die Druckparameter mussten allerdings für die kleinformatige lebendmyzelhaltige und die großformatige langfaserhaltige Entwicklungsroute unterschiedlich festgelegt werden.

Ressourcen und Abweichungen:

Neben wissenschaftlichem Personal waren zahlreiche Druckversuche, Materialchargen und Anlagenzeiten erforderlich. Aufgrund der Skalierung auf einen Demonstrator im Maßstab 1:1 wurde der ursprünglich vorgesehene Untersuchungsumfang zur Formgebung um großformatige Druckpfade und integrierte Verstärkungen erweitert.

Arbeitspaket 3.2: Kultivierung, einheitlich

Gedruckte Proben wurden unter möglichst vergleichbaren Bedingungen kultiviert und ihr Wachstum visuell dokumentiert. Untersucht wurde, ob sich aus Druckparametern, Probengeometrien und Materialzusammensetzungen systematische Unterschiede im Wachstumsverhalten ableiten lassen.

Mit Pilzmyzel bewachsene 3D-gedruckte Objekte konnten grundsätzlich hergestellt werden. Auch ein Demonstrator im Maßstab 1:5 wurde aus lebendmyzelhaltiger Paste gedruckt, kultiviert und anschließend ausgestellt. Der Kultivierungserfolg sowie die Ausbildung der Oberflächenschicht zeigten jedoch auch bei vergleichbaren Bedingungen deutliche Streuungen.

Das Arbeitspaket wurde durchgeführt und abgeschlossen. Das geplante Ergebnis einer belastbaren systematischen Zuordnung zwischen Druckparametern und späteren Materialeigenschaften wurde jedoch nur teilweise erreicht.

Ressourcen und Abweichungen:

Die Arbeiten erforderten regelmäßig wiederkehrende Kultivierungs-, Kontroll- und Dokumentationsaufgaben. Jede Versuchsserie benötigte eine Wachstumszeit von etwa zwei Wochen, bevor eine Bewertung möglich war. Dies verringerte die Zahl der innerhalb der Projektlaufzeit möglichen Iterationen.

Arbeitspaket 4.1: Beeinflusste Kultivierung einheitlicher Probekörper

Die Einflüsse unterschiedlicher Temperaturen, Luftfeuchtigkeiten und Belüftungsbedingungen auf das Myzelwachstum wurden untersucht. Qualitativ zeigte sich, dass niedrigere Temperaturen und hohe Luftfeuchtigkeit tendenziell ein stärkeres Oberflächenwachstum begünstigten. Höhere Temperaturen oder geringere Luftfeuchtigkeit führten eher zur Austrocknung der Oberfläche und zu einem stärkeren Wachstum innerhalb des Substrats.

Damit konnten relevante Umgebungseinflüsse identifiziert werden. Die Ergebnisse waren jedoch nicht ausreichend reproduzierbar. Auch unter nominell gleichen Bedingungen unterschieden sich Wachstumsintensität, Oberflächenbesiedlung und Schaumausbildung deutlich. Eine Kultivierungsstrategie für eine gleichmäßige und wiederholbare Schaumschicht wurde nicht erreicht.

Als Konsequenz wurden zusätzliche Kultivierungsversuche durchgeführt. Die ursprünglich für die akustische Charakterisierung vorgesehenen zeitlichen Kapazitäten wurden teilweise hierfür eingesetzt.

Ressourcen und Abweichungen:

Zusätzlich zum geplanten wissenschaftlichen Personal waren umfangreiche Kultivierungszeiten und regelmäßige visuelle Kontrollen erforderlich. Der zeitliche Aufwand fiel wegen der biologischen Streuungen und der etwa zweiwöchigen Wachstumszyklen höher aus als zunächst erwartet.

Arbeitspaket 5.1: Trocknungsprozess und Bauteilcharakterisierung

Gedruckte und teilweise kultivierte Proben wurden unter definierten Bedingungen getrocknet. Dabei wurden Geometrie, Gewicht, Oberfläche, Schwindung und Verzug betrachtet. Für den großformatigen Demonstrator wurde ein Trocknungsregime von 110 °C über 60 Stunden eingesetzt.

Zur Begrenzung des trocknungsbedingten Verzugs wurden verschiedene Verstärkungsstrategien untersucht. Dazu gehörten punktuelle Abstandshalter, schichtweise eingelegte Holzstäbe, flächige Verstärkungen und gedruckte Stützgitter. Die Kombination aus angepasster Pastenzusammensetzung, druckgerechter Konstruktion und integrierten Verstärkungen führte zu einer hohen Dimensionsstabilität, insbesondere in Z-Richtung.

Die geplante externe akustische Vermessung wurde fachlich vorbereitet. Gemeinsam mit der vorgesehenen Messstelle wurden Anzahl, Beschaffenheit und Eignung der verfügbaren Proben bewertet. Wegen der geringen Probenzahl und der starken Streuungen bei Myzelwachstum, Schaumausbildung, Oberflächenstruktur und Materialbeschaffenheit war keine belastbare quantitative Bestimmung möglich. Daher wurde einvernehmlich entschieden, die Messungen zum damaligen Entwicklungsstand nicht durchzuführen.

Das Arbeitspaket wurde damit abgeschlossen, das geplante Ergebnis jedoch nur teilweise erreicht. Die Trocknung und geometrische Charakterisierung wurden durchgeführt, die akustische Charakterisierung dagegen aus wissenschaftlich-methodischen Gründen nicht umgesetzt.

Ressourcen und Abweichungen:

Die für die externe Akustikmessung vorgesehenen Mittel wurden nicht wie geplant eingesetzt. Zeitliche Kapazitäten wurden stattdessen für zusätzliche Kultivierungs-, Trocknungs- und Verzugsuntersuchungen verwendet. Die Abstimmung mit der vorgesehenen Messstelle erfolgte dennoch, um die methodische Entscheidung fachlich abzusichern.

Arbeitspaket 6.1: Ableitung Prozessstrategie

Die Ergebnisse aus Materialentwicklung, Hygiene, Druckprozess, Kultivierung und Trocknung wurden zusammengeführt. Statt einer einzigen universellen Prozesskette wurden zwei anwendungsbezogene Routen abgeleitet:

- eine kleinformatige Route für lebendmyzelhaltige Pasten, den Druck innerhalb einer biologischen Sicherheitswerkbank und die anschließende Kultivierung,
- eine großformatige Route für längere Holzfasern, erhöhte Z-Stabilität, integrierte Verstärkungen und den Demonstrator im Maßstab 1:1.

Eine Prozessstrategie für die Herstellung gedruckter Myzel-Holz-Bauteile konnte somit grundsätzlich abgeleitet werden. Das Ziel einer reproduzierbaren Strategie zur gezielten Ausbildung unterschiedlicher Myzel- und Akustikeigenschaften wurde jedoch nicht erreicht.

Ressourcen und Abweichungen:

Die Arbeiten wurden mit dem vorgesehenen wissenschaftlichen Personal durchgeführt. Gegenüber der ursprünglichen Planung ergab sich ein zusätzlicher Aufwand für die Zusammenführung zweier unterschiedlicher Material- und Druckrouten.

Arbeitspaket 6.2: Herstellung Demonstrator

Es wurden zwei Demonstratoren mit unterschiedlichen Zielsetzungen hergestellt. Der Demonstrator im Maßstab 1:5 wurde aus lebendmyzelhaltiger Paste gedruckt, kultiviert und im Rahmen der Transferaktivitäten ausgestellt. Für den Demonstrator im Maßstab 1:1 wurde eine großformatige, langfaserhaltige Prozessroute umgesetzt.

Der 1:1-Demonstrator erreichte Abmessungen von etwa 370 × 280 × 155 mm, ein Gewicht von rund 3,8 kg und ein Druckvolumen von 16.058 cm^3. Die Geometrie wurde im Spiral- beziehungsweise Vase-Modus hergestellt und durch integrierte Fichtenholzstäbe stabilisiert.

Das Ziel eines additiv gefertigten Transmissionline-Demonstrators wurde hinsichtlich Geometrie, Maßstab und Herstellbarkeit weitgehend erreicht. Eine vollständige Bewertung als akustisches Funktionsmuster war aufgrund der fehlenden reproduzierbaren Kultivierung und akustischen Vermessung nicht möglich.

Ressourcen und Abweichungen:

Neben wissenschaftlichem Personal waren Anlagenzeit, Materialchargen, Hilfsmittel für die Verstärkung sowie Kultivierungs- und Trocknungskapazitäten notwendig. Zusätzlich zum ursprünglich vorgesehenen Demonstrator entstand ein kultivierter Demonstrator im Maßstab 1:5.

Arbeitspaket 7.1: Trendanalyse 3D-Myzelwerkstoffe

HAUTE INNOVATION erfasste Entwicklungen bei natürlichen 3D-Druckmaterialien und bewertete mögliche Anwendungen von Myzelwerkstoffen in den Bereichen Akustik, Design, Raumgestaltung und Bau. Die Erkenntnisse dienten der Vorbereitung der Technologiekommunikation und der Ansprache relevanter Zielgruppen.

Im Projektverlauf wurde das Anwendungsspektrum über die Audioindustrie hinaus erweitert. Zusätzliche Potenziale wurden unter anderem im Möbel- und Innenausbau, im Bauwesen, im Fahrzeug- und Caravan-Interieur sowie im Messebau identifiziert.

Ressourcen und Abweichungen:

Die Arbeiten wurden durch fachliches Personal von HAUTE INNOVATION durchgeführt. Die Erkenntnisse wurden nicht nur in einem eigenständigen Analyseprozess genutzt, sondern fortlaufend in Vorträge, Workshops, Messekonzepte und Anwendergespräche integriert. Die Ergebnisse der Trendanalyse wurden durch HAUTE INNOVATION anlässlich der formnext im November 2026 vorgestellt.

Arbeitspaket 8.1: Ausstellungen

Materialproben, Zwischenergebnisse und Demonstratoren wurden in öffentlich zugänglichen Ausstellungs- und Museumsformaten gezeigt. Zu den dokumentierten Aktivitäten gehörten insbesondere Formate im Futurium Berlin, im GRASSI Museum für Angewandte Kunst Leipzig und im Designhaus Darmstadt.

Die Ausstellungen dienten der allgemein verständlichen Vermittlung des Projekts, der Sensibilisierung für biogene Werkstoffe und Kreislaufwirtschaft sowie dem direkten Austausch mit Besucherinnen und Besuchern. Projektfortschritte wurden während der Laufzeit sichtbar gemacht und nicht erst nach Abschluss präsentiert.

Ressourcen und Abweichungen:

Erforderlich waren Konzeption, Vorbereitung, Transport, Aufbau, Betreuung und Nachbereitung der Exponate. HAUTE INNOVATION übernahm insbesondere die Abstimmung mit den Ausstellungshäusern und die kommunikative Einordnung.

Arbeitspaket 8.2: Messen

Das Projekt wurde auf mehreren Fachmessen präsentiert. Dokumentiert sind insbesondere Beteiligungen auf der Intec 2025 und der parallel stattfindenden Zuliefermesse Z, der Orgatec 2024, der Interzum 2025, der Elmia Subcontractor 2024 und 2025 in Schweden sowie der Formnext 2026. Vorgestellt wurden Materialproben, Druckverfahren, Zwischenergebnisse und Demonstratoren.

Die Messeauftritte ermöglichten Gespräche mit Fachleuten aus additiver Fertigung, Akustik, Bau, Interieur, Design, Maschinenbau und Zulieferindustrie. Das gewonnene Feedback floss in die Bewertung von Geometrie, Maßhaltigkeit, Oberflächenanforderungen und möglichen Anwendungen ein.

Ressourcen und Abweichungen:

HAUTE INNOVATION übernahm wesentliche Aufgaben bei Messekonzeption, Organisation, Kommunikation und Kontaktpflege. Erforderlich waren Reise-, Transport-, Aufbau- und Betreuungsaufwände. Gegenüber den ursprünglich genannten Veranstaltungsorten und Formaten ergaben sich teilweise Änderungen, das übergeordnete Ziel der fachlichen Präsentation und Nutzeransprache wurde jedoch umgesetzt. Die abschließende Zahl der Messebeteiligungen ist mit der finalen Dokumentation abzugleichen.

Arbeitspaket 8.3: Messe-Technologiedemonstration

Das Fraunhofer IWU unterstützte Messe- und Transferveranstaltungen als technischer Partner. Der PDM-Druck wurde live beziehungsweise anhand von Anlagen, Prozessdarstellungen, Proben und Demonstratoren erläutert. Fachliche Fragen zu Materialrezepturen, Extrusion, Formstabilität, Kultivierung und Skalierung wurden direkt beantwortet.

Die Technologievorführungen ermöglichten einen praxisnahen Dialog und die Diskussion konkreter Bauteile und Produktideen. Das Ziel der technischen Begleitung der Messeauftritte wurde erreicht.

Ressourcen und Abweichungen:

Erforderlich waren wissenschaftliches Personal, Reisezeiten, Transport von Anlagen und Proben sowie die Vorbereitung geeigneter Druckmaterialien. Die ursprünglich vorgesehenen Veranstaltungen wurden teilweise durch andere geeignete Messe- und Transferformate ersetzt.

Arbeitspaket 8.4: Publikation

HAUTE INNOVATION bereitete Projektstände und Veranstaltungsergebnisse für Webseiten, digitale Beiträge, Vorträge und weitere Kommunikationskanäle auf. Die Inhalte wurden während der Projektlaufzeit aktualisiert, sodass externe Interessierte den Entwicklungsfortschritt kontinuierlich verfolgen konnten.

Durch die fortlaufende Kommunikation wurden nicht nur abschließende Ergebnisse, sondern auch Zwischenstände, Herausforderungen und neue Anwendungsmöglichkeiten sichtbar gemacht. Dies unterstützte den frühen Dialog mit potenziellen Anwendern und weiteren Forschenden.

Ressourcen und Abweichungen:

Erforderlich waren redaktionelle Arbeiten, Bild- und Präsentationsmaterial sowie die Abstimmung mit Veranstaltern und Projektpartnern.

Arbeitspaket 9.1: Präsentationen

Der jeweilige Projektstand wurde fortlaufend in Vorträge und Präsentationen von HAUTE INNOVATION übernommen. Dabei wurden die Material- und Technologieentwicklung, der Herstellungsprozess, die Demonstratoren sowie mögliche Anwendungen vorgestellt.

Die Präsentationen dienten der Erfassung von Kooperationsinteresse, der Ansprache neuer Nutzergruppen und der Diskussion von Produktideen. Insbesondere die Verbindung von biogenen Werkstoffen, additiver Fertigung, Akustik und zirkulären Produktkonzepten wurde vermittelt.

Ressourcen und Abweichungen:

Die Arbeiten umfassten die Erstellung und laufende Aktualisierung von Präsentationsunterlagen, Veranstaltungsabsprachen und Nachbereitung von Gesprächen.

Arbeitspaket 9.2: Workshops

In den Workshops wurden Materialproben, Druckverfahren und mögliche Anwendungen gemeinsam mit Teilnehmenden erörtert. Dokumentiert sind unter anderem Formate im Futurium Berlin, im GRASSI Museum Leipzig, in der ALUO Akademie für Bildende Kunst und Design Ljubljana und im Designhaus Darmstadt sowie ein gemeinsamer Workshop mit dem DATIpilot-Projekt addwood.

Teilnehmende konnten eigene Bauteile, Entwürfe und Anwendungsfragen einbringen. Diskutiert wurden insbesondere Geometrie, Formtreue, Maßhaltigkeit, Oberfläche, geeignete Bauteilgrößen und die praktische Umsetzbarkeit. Das Feedback wurde iterativ in die technische Entwicklung aufgenommen.

Durch das frühe Öffnen des Forschungsprozesses entstanden auch Kontakte zu weiteren Forschenden und Fachleuten aus dem Holzdruck, der Materialentwicklung und der großformatigen additiven Fertigung. Dieser Austausch trug zur fachlichen Abgrenzung, zur Qualitätssteigerung und zu einem agilen Projektverlauf bei.

Ressourcen und Abweichungen:

Erforderlich waren Konzeption, Teilnehmeransprache, Veranstaltungsorganisation, Materialien, Proben, Drucktechnik sowie Vor- und Nachbereitung.

Arbeitspaket 9.3: Workshop-Technologiedemonstration

Das Fraunhofer IWU unterstützte die Workshops durch technische Vorträge, Live-Druckvorführungen und die Beantwortung anwendungsbezogener Fragen. Die Teilnehmenden erhielten Einblick in Pastenherstellung, Materialförderung, Druckpfade, Kultivierung und Skalierung.

Der gemeinsame Workshop mit addwood ermöglichte den direkten Vergleich unterschiedlicher Ansätze zum 3D-Druck holzbasierter Pasten. Aus diesem Austausch wurde für mycoustics eine stärkere Fokussierung auf längere Holzfasern, großformatige Bauteile und myzelgerechte Substratzusammensetzungen abgeleitet.

Das Arbeitspaket wurde durchgeführt und das Ziel der technischen Begleitung erreicht.

Ressourcen und Abweichungen:

Erforderlich waren wissenschaftliches Personal, mobile Drucktechnik, Materialproben und Reiseaufwand. Die Workshopinhalte wurden stärker als ursprünglich vorgesehen für einen direkten methodischen Austausch mit einem parallelen DATIpilot-Vorhaben genutzt.

Außerplanmäßige beziehungsweise erweiterte Arbeiten

Es entstand kein vollständig neues, formal eigenständiges Arbeitspaket. Mehrere vorhandene Arbeitspakete wurden jedoch inhaltlich erweitert:

- Aufbau zweier spezialisierter Drucksysteme und Prozessrouten
- Entwicklung unterschiedlicher Pasten für den 1:5- und 1:1-Demonstrator
- Untersuchung mechanischer und pneumatischer Materialförderung
- stärkere Fokussierung auf längere Holzfasern und großformatige Bauteile
- Untersuchung zusätzlicher Stoffe zur Einstellung der Pastenverfestigung
- Entwicklung integrierter Verstärkungen und Maßnahmen zur Verzugskompensation
- intensive Zusammenarbeit mit dem DATIpilot-Projekt addwood
- frühzeitige Einbindung externer Anwender und Forschender
- zusätzliche Kultivierungsversuche anstelle nicht aussagekräftiger Akustikmessungen

Diese Anpassungen waren notwendig, um auf die während des Projekts erkannten technischen und biologischen Herausforderungen zu reagieren. Sie trugen insbesondere zur erfolgreichen Herstellung der Demonstratoren sowie zur hohen Dimensionsstabilität des großformatigen Bauteils bei.

2.2 Erreichte Meilensteine

Meilensteine Gesamtprojekt

Beschreibung: messbare Zielparameter, Steuerungsfunktion	Nr.	geplanter Monat	realer Monat	Erläuterung (planabweichend/nicht erreicht)
Erfolgreiche Identifikation mindestens einer für den 3D-Druck geeigneten Pilzsorte sowie Definition von Fertigungsprozessschritten und Hygienemaßnahmen für eine möglichst kontaminationsfreie Kultivierung von Testgeometrien. Zielwert: Restrisiko der Kontamination bei der Kultivierung maximal 20 %.	1	April 2025	April 2025, Untersuchungen anschließend fortgeführt	**Teilweise erreicht:** Geeignete Pilzarten, kultivierbare Pasten sowie sterile und halbsterile Prozessführungen wurden untersucht. Eine reproduzierbare Kontaminationsrate von maximal 20 % konnte jedoch nicht nachgewiesen werden. Schimmelhemmende Zusatzstoffe hemmten teilweise auch das gewünschte Myzelwachstum. Die Arbeiten zur Hygiene und Kultivierung wurden deshalb über den Meilenstein hinaus fortgesetzt

Meilensteine Teilprojekt A

Beschreibung: messbare Zielparameter, Steuerungsfunktion	Nr.	geplanter Monat	realer Monat	Erläuterung (planabweichend/nicht erreicht)

Erfolgreicher 3D-Druck mit lebendem Pilzmyzel, das sich anschließend kultivieren lässt.	2	August 2025	Dezember 2025	**Erreicht:** Lebendmyzelhaltige Pasten wurden erfolgreich extrudiert und die gedruckten Proben anschließend kultiviert. Zudem wurde ein Transmissionline-Demonstrator im Maßstab 1:5 gedruckt, mit Myzel bewachsen und ausgestellt. Der Kultivierungserfolg und die Schaumausbildung zeigten jedoch deutliche Streuungen.

Meilensteine Teilprojekt B

Beschreibung: messbare Zielparameter, Steuerungsfunktion	Nr.	geplanter Monat	realer Monat	Erläuterung (planabweichend/nicht erreicht)
Zwischenauswertung „Midterm: Potenziale und Anforderungen“ und Nutzerempfinden zu Rohstoff, Verarbeitung und Anwendung sowie daraus abgeleiteter Potenzialstudie. Bei Bedarf Anpassung der Workshopformate.	2	August 2025	Monat 12, anschließend fortlaufend aktualisiert	**Erreicht:** Branchen- und Nutzerfeedback wurde über Messen, Ausstellungen, Workshops, Präsentationen und direkte Gespräche erhoben. Anforderungen an Geometrie, Formtreue, Maßhaltigkeit, Oberflächen und Anwendungen flossen fortlaufend in die Entwicklung ein. Die Ergebnisse und Projektfortschritte wurden durch HAUTE INNOVATION kontinuierlich in Präsentationen und Transferformate übernommen.

2.3 Erreichte Ergebnisse

2.3.1 Erreichung der Gesamtziele

Gesamtziel des Innovationssprints	Entwicklung einer formwerkzeuglosen Prozesskette für schallabsorbierende und schallreflektierende Myzelbauteile sowie eines Transmissionline-Demonstrators zum Transfer zirkulärer 3D-Druck-Materialien in die Audioindustrie.	Die formwerkzeuglose Herstellung myzelhaltiger Holzbauteile wurde grundsätzlich nachgewiesen. Ein bewachsener Demonstrator im Maßstab 1:5 und ein großformatiger Demonstrator im Maßstab 1:1 wurden realisiert. Material, Prozess und Demonstratoren wurden öffentlich präsentiert und weitere Anwendungen in Akustik, Bau, Innenausbau und Design erschlossen. Nicht erreicht wurde die reproduzierbare Erzeugung unterschiedlicher akustischer Bereiche. Aufgrund starker Streuungen beim Myzelwachstum konnten keine geeigneten Probenserien für eine belastbare akustische Charakterisierung hergestellt werden. Das Gesamtziel wurde daher hinsichtlich Herstellbarkeit, Demonstration und Transfer weitgehend, hinsichtlich der akustischen Funktionalisierung jedoch nicht erreicht.
Beitrag des Teilprojekts A	Wissenschaftlich-technische Umsetzung durch Konstruktion, Simulation, Technologie- und Werkstoffentwicklung sowie Herstellung und Validierung von Testge-	Das Fraunhofer IWU entwickelte zwei angepasste Material- und Prozessrouten. Ein kompaktes Drucksystem diente der Verarbeitung lebendmyzelhaltiger Pasten unter einer biologischen Sicherheitswerkbank. Ein größeres System wurde für langfaserhaltige Holzpasten und den großformatigen Druck aufgebaut. Untersucht wurden außerdem Hygienestrategien, Förderprinzipien, Pastenzusätze, Faserlängen, Trocknung sowie konstruktive Verstärkungen und Maßnahmen zur Verzugskompensation.

	ometrien und eines Transmissionline-Demonstrators	Formstabile Probekörper und Demonstratoren im Maßstab 1:5 und 1:1 wurden erfolgreich hergestellt. Nur teilweise erreicht wurden eine reproduzierbare Kultivierung und robuste Hygienestrategie. Da keine gleichmäßige Schaumausbildung erzielt wurde, konnte die geplante akustische Validierung nicht durchgeführt werden.
Beitrag des Teilprojekts B	Gezielte Wissenschaftskommunikation durch Messeauftritte, Fachvorträge und Publikationen, um neue Anwendungsbereiche zu erschließen und den Transfer der entwickelten Technologie in die Wirtschaft anzubahnen.	HAUTE INNOVATION begleitete die technische Entwicklung kontinuierlich durch Vorträge, Präsentationen, Messeauftritte, Ausstellungen, Workshops und digitale Kommunikation. Bereits frühe Material- und Prozessstände wurden potenziellen Anwendern vorgestellt. Rückmeldungen zu Bauteilgeometrie, Formtreue, Maßhaltigkeit, Oberflächenqualität und praktischer Umsetzbarkeit flossen fortlaufend in die technische Entwicklung ein. Durch die Präsentation von Proben und Demonstratoren sowie durch Live-Druckvorführungen wurden unterschiedliche Zielgruppen aus Akustik, Bauwesen, Design, Interieur und additiver Fertigung erreicht. Dabei konnten weitere Anwendungsmöglichkeiten im Möbel- und Innenausbau, im Fahrzeug- und Caravan-Interieur, im Messebau und bei großformatigen biogenen Bauteilen identifiziert werden. Zusätzlich entstanden Kontakte zu Forschenden und Fachleuten aus verwandten Bereichen, die zu einer kontinuierlichen Verbesserung und fachlichen Abgrenzung der Technologie beitrugen. Eine unmittelbare wirtschaftliche Überführung in ein marktfähiges Audioprodukt wurde noch nicht erreicht. Die Aktivitäten ermöglichten jedoch die branchenübergreifende Sichtbarkeit des Verfahrens, die Erhebung konkreter Anwenderanforderungen und die Anbahnung weiterer Gespräche mit potenziellen Partnern. Der vorgesehene Beitrag zur Wissenschaftskommunikation und Transferanbahnung wurde damit weitgehend erfüllt.

2.3.2 Erreichung der wissenschaftlichen und/oder technischen Arbeitsziele

Geplante konkrete Arbeitsziele: Gesamtprojekt	Erfüllung
Entwicklung einer formwerkzeuglosen Prozesskette zur Herstellung von Bauteilen aus Myzelwerkstoff	**Teilweise erfüllt:** Eine Prozesskette von der Pastenherstellung über den PDM-Druck bis zur Trocknung großformatiger Bauteile wurde entwickelt und erprobt. Die Kultivierung konnte jedoch nicht ausreichend reproduzierbar in die Prozesskette integriert werden.
Herstellung von Bauteilen mit schallabsorbierenden und schallreflektierenden Eigenschaften	**Teilweise erfüllt:** Unterschiedliche Wachstums- und Oberflächenformen konnten qualitativ erzeugt werden. Eine reproduzierbare Herstellung definierter schallabsorbierender und schallreflektierender Bereiche wurde nicht erreicht.
Entwicklung eines Transmissionline-Gehäuses als	**Weitgehend erfüllt:** Ein Demonstrator im Maßstab 1:1 wurde additiv gefertigt. Aufgrund fehlender reproduzierbarer Kultivierung und akustischer Validierung lag jedoch kein vollständig funktionsvalidiertes Akustikgehäuse vor.

anwendungsnaher Demonstrator	
Transfer des Myzelwerkstoffs und der entwickelten Technologie in die Audioindustrie	**Teilweise erfüllt:** Die Technologie wurde auf Messen, in Ausstellungen und Workshops präsentiert. Direkte Gespräche mit Akustikunternehmen wurden aufgenommen. Eine industrielle Überführung erfolgte noch nicht.
Erschließung weiterer Anwendungsfelder für zirkuläre 3D-Druck-Myzelwerkstoffe	**Erfüllt:** Zusätzliche Potenziale wurden insbesondere im Bauwesen, Möbel- und Innenausbau, Fahrzeug- und Caravan-Interieur, Messebau und bei großformatigen biogenen Bauteilen identifiziert.
Kommunikation der Projektergebnisse und Anbahnung von Kooperationen	**Erfüllt:** Die Ergebnisse wurden durch Messebeteiligungen, Ausstellungen, Workshops, Live-Druckvorführungen und direkte Gespräche mit potenziellen Anwendern kommuniziert.
Zusätzliches Ergebnis: Großformatige Fertigung mit hoher Dimensionsstabilität	**Erfüllt:** Es wurde eine hohe Dimensionsstabilität in Z-Richtung erreicht, die über die Ergebnisse der eingesetzten Standardtechnik hinausgeht. Diese Erkenntnis ist auch unabhängig vom Myzelwachstum für weitere Branchen verwertbar.
Geplante konkrete Arbeitsziel: Teilprojekt A	**Erfüllung**
Entwicklung einer druckbaren, formstabilen und kultivierbaren Myzel-Holz-Paste sowie Anpassung des PDM-Druckprozesses	**Erfüllt:** Eine extrudierbare Rezeptur wurde entwickelt und der PDM-Drucker einschließlich Materialführung und Werkzeugkopf angepasst. Geeignete Druckparameter wurden bestimmt und formstabile Probekörper sowie großformatige Bauteile hergestellt. Kleine Düsendurchmesser erwiesen sich aufgrund von Verstopfungen durch grobe beziehungsweise gequollene Bestandteile als ungeeignet.
Herstellung und Kultivierung 3D-gedruckter Myzelobjekte	**Teilweise erfüllt:** Gedruckte Objekte konnten erfolgreich mit Myzel bewachsen werden. Der Einfluss von Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Belüftung wurde untersucht. Der Kultivierungserfolg und die Schaumausbildung zeigten jedoch auch bei vergleichbaren Bedingungen erhebliche Streuungen.
Entwicklung einer reproduzierbaren Prozessstrategie für gezielt myzelbewachsene Proben mit unterschiedlichen akustischen Eigenschaften	**Nicht erfüllt:** Unterschiedliche Wachstums- und Oberflächenformen konnten qualitativ erzeugt werden. Eine gleichmäßige und wiederholbare Schaumausbildung wurde jedoch nicht erreicht. Daher konnten keine vergleichbaren Probenserien für eine belastbare akustische Vermessung hergestellt und keine definierten Schallabsorptionsgrade nachgewiesen werden.
Entwicklung der Trocknungs-, Verstärkungs- und Verzugskompensationsstrategie	**Erfüllt:** Trocknungsbedingungen sowie konstruktive Verstärkungs- und Stützkonzepte wurden untersucht. Integrierte Holzstäbe, Stützstrukturen und eine druckgerechte Geometrie verbesserten die Formstabilität und reduzierten den trocknungsbedingten Verzug.
Herstellung eines 3D-gedruckten Transmissionline-Demonstrators	**Erfüllt:** Ein großformatiger Demonstrator im Maßstab 1:1 wurde gedruckt und getrocknet. Aufgrund der nicht reproduzierbaren Kultivierung und der fehlenden akustischen Vermessung konnte er jedoch nicht als vollständig validiertes akustisches Funktionsmuster bewertet werden.

Zusätzliches Ergebnis: Skalierbare Fertigung und hohe Dimensionsstabilität großformatiger Bauteile	**Erfüllt:** Die Übertragung vom Probekörper auf einen großformatigen Demonstrator wurde erfolgreich umgesetzt. Besonders relevant ist die erreichte hohe Dimensionsstabilität in Z-Richtung. Die entwickelten Druck-, Verstärkungs- und Verzugskompensationsstrategien sind auch unabhängig vom Myzelwachstum für biogene Pasten und Anwendungen im Möbel-, Innenausbau- und Baubereich nutzbar.
Geplante konkrete Arbeitsziele: Teilprojekt B	**Erfüllung**
Trendanalyse zum 3D-Druck von Myzelwerkstoffen und Identifikation relevanter Anwendungsfelder	**Erfüllt:** Material-, Technologie- und Anwendungstrends wurden ausgewertet. Neben der Audioindustrie wurden insbesondere Potenziale in Akustik, Bauwesen, Möbel- und Innenausbau, Fahrzeuginterieur sowie Messebau identifiziert.
Erhebung und Dokumentation von Branchen- und Nutzerfeedback	**Erfüllt:** Bei Messen, Ausstellungen und Workshops wurden Rückmeldungen zu Material, Verarbeitung und möglichen Anwendungen aufgenommen. Teilnehmende konnten eigene Bauteile und Produktideen einbringen und gemeinsam mit den Projektpartnern diskutieren.
Durchführung von Messen, Ausstellungen und Workshops	**Erfüllt:** Das Projekt wurde auf mehreren Fachmessen und in Ausstellungshäusern präsentiert und in öffentlichen sowie fachbezogenen Workshopformaten vorgestellt. Dazu gehörten unter anderem die Intec/Z 2025, die Orgatec 2024, die Elmia Subcontractor 2024 und 2025 in Schweden, die Interzum 2025 und die Formnext 2025 sowie Veranstaltungen und Konferenzen im Futurium Berlin, im GRASSI Museum Leipzig, anlässlich der 3D KonzeptLabs 2024 im Fraunhofer Forum Berlin, der Passagen 2025 in Köln, des Bioraffinerietags 2025 in Leipzig, zur Milan Design Week 2025, am Non Tox Day in Lubljana und im Designhaus Darmstadt als Teil des WDC World Design Capital Frankfurt RheinMain 2026. Insgesamt wurden die Projektergebnisse auf 6 Messen gezeigt, Ausstellungen in drei Ausstellungshäusern umgesetzt, 2 Konferenzen durchgeführt und im Rahmen von 20 Vorträgen national und international unterschiedlichen Zielgruppen und einer breiten Öffentlichkeit präsentiert. Außerdem wurden die Ergebnisse in 6 Workshops mit unterschiedlichen Zielgruppen diskutiert und Nutzerfeedback eingeholt. Ein finaler Projektdemonstrator ist im Futurium Berlin noch bis Sommer 2027 zu sehen. Messepräsentationen - "Circular Biomaterials", Sonderfläche, Orgatec, Kölnmesse, 22.-25. Oktober 2024 -"Innodex Materials", Sonderfläche, ELMIA Subcontractor, Jönköping (Schweden), 12.-14. November 2024 - Intec, Leipzig, 11. bis 14. März 2025 - "Biocircular Materials", Sonderfläche, Interzum, Kölnmesse, 20.-23. Mai 2025 - "SMART Materials", Sonderfläche, ELMIA Subcontractor, Jönköping/Schweden, 11.-13. November 2025 - Formnext 2025, Frankfurt, 18.-21. November 2025 Ausstellungen - "Schätze der Zukunft", Futurium Berlin, Laufzeit: 1. September 2024 – Sommer 2027 - "Zukünfte. Materialien und Design von Morgen", Grassimuseum Leipzig, Laufzeit: 20. November 2024 bis 24. August 2025 - "From Nature to Nature", 5.–8. Februar 2026, Designhaus, Darmstadt im Rahmen

	des WDC (World Design Capital, Frankfurt RheinMain 2026) Konferenzen 3D KonzeptLabs, 24. September 2024, Fraunhofer Forum Berlin Konferenz/Agora: "From Nature to Nature", 5. Februar 2026, Designhaus Darmstadt im Rahmen des WDC (World Design Capital, Frankfurt RheinMain 2026) Workshops - 14. März 2025 Workshop mit dem DATIpilot-Projekt addwood, Dresden - 10. April 2025: Futurium Open Lab Abend, Berlin - 7. Mai 2025: Grassimuseum, Leipzig - 2. Juni 2025: ALUO Lubljana/Slowenien - 6. Februar 2026: Designhaus, Darmstadt Vorträge - 24. September 2024 "Mycoustics – 3D-Druck von Transmissionline-Lautsprechern", 3DKonzeptLabs, Fraunhofer Forum Berlin - 12. November 2024 "Advanced Materials for AM", ELMIA Subcontractor, Jönköping/Schweden - 14. November 2024 "Circular Biomaterials for Industry and Design", ELMIA Subcontractor, Jönköping/Schweden - 15. Januar 2025, "Myco Materials für komplexes Produktdesign", Designers Tower, Passagen, Köln - 7. April 2025, "Biomaterials for Automotive Interior", CMF conference, Milan Design Week, Italien - 16. Mai 2025, "Circular Materials4Future", WPP Campus, Berlin Design Week 2025 - 23. Mai 2025, "NextGen Mycelium Materials for Design", Interzum 2025, Kölnmesse - 2. Juni 2025, "Mycelium Materials for Design" ALUO Lubljana/Slowenien - 3. Juni 2025, "Future Design Materials", Healthy Materials Conference, Material Matters – Non Tox Day, Lubljana/Slowenien - 11. Juni 2025, "MycoTech, MyCoustics, MyxSail: Mycelium Fabrication for Design", HAWK Hildesheim - 11. September 2025, "MyCoustics und der 3D-Druck mit Pilzen", 3D-Werk, St. Georgen (Schwarzwald) - 16. September 2025, "Pilzmyzel, Algen, Zellulose: Neue Quellen für biozirkuläre Materialien", 6. Bioraffinerietag, Leipzig - 5. November 2025, "Smart Biomaterials for Industry and Design", Smart Materials Summit, Karlsruhe - 11. November 2025 "SMART Materials for Industry", ELMIA Subcontractor, Jönköping/Schweden - 12. November 2025 "Circular Biomaterials for Industrial Applications", ELMIA Subcontractor, Jönköping/Schweden - 21. November 2025, "3D-Druck mit Pilzen", formnext, Frankfurt - 5. Februar 2026, "From Nature to Nature", KeyNote, Designhaus Darmstadt, im Rahmen des WDC (World Design Capital, Frankfurt RheinMain 2026) - 7. Februar 2026, "High-advanced biomaterials for designers in a circular world", Designhaus Darmstadt, im Rahmen des WDC (World Design Capital, Frankfurt RheinMain 2026)

	- 24. Februar 2026, "Pilzmyzel als Bio-Klebstoff", Online-Konferenz "Future of Bioadhesives" - 26. Februar 2026, "Biozirkuläre Materialschätze der Zukunft", VDID im Futurium Berlin
Technologiekommunikation durch Veröffentlichungen und digitale Beiträge	**Erfüllt:** Projekt- und Veranstaltungsinformationen wurden in Fachmagazinen, auf Webseiten und über weitere Kommunikations-kanäle wie Social Media/LinkedIn veröffentlicht, wie z.B.:
Ansprache neuer Anwendergruppen und Anbahnung von Kooperationen	**Erfüllt:** Potenzielle Anwender aus Akustik, Architektur, Bau, Interieur, Design und additiver Fertigung wurden angesprochen. Die Aktivitäten führten zu direkten Gesprächen mit Akteuren aus der Akustik- und Baubranche. Eine verbindliche industrielle Überführung wurde noch nicht erreicht.
Zusätzliches Ergebnis: Entwicklung modellhafter Transferformate	**Erfüllt:** Die Kombination aus Demonstratorpräsentation, Live-Druck, Workshop und Diskussion konkreter Anwendungsideen erwies sich als geeignetes branchenübergreifendes Transferformat. Dadurch konnte die Verwertung über das Transmissionline-Gehäuse hinaus auf weitere Produkte und Branchen erweitert werden.

Zusätzliche oder neue Arbeitsergebnisse, die im Projektverlauf entstanden sind:

• 3D Druck von Holzspänen mit Faserlängen >3mm bei einer Z-Höhe >50 mm
• Strategien zur Verzugskompensation im biologischen Druck von Holz
• Caravaning-Interior als neues Anwendungsfeld für die additive Prozesskette zur Herstellung großformatiger Bauteile aus Pilzmyzelwerkstoffen

2.4 Verwertung

2.4.1 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses

Die gemeinsame Verwertungsstrategie des Fraunhofer IWU und der Zukunftsagentur HAUTE INNOVATION zielte ursprünglich darauf ab, die entwickelte Prozesskette und den Transmissionline-Demonstrator für einen Transfer in die Audioindustrie zu nutzen. Ergänzend sollten durch Messen, Ausstellungen, Workshops und Veröffentlichungen weitere Anwendungsfelder erschlossen, Anwenderanforderungen ermittelt und potenzielle Kooperationspartner angesprochen werden. Nach Projektende war vorgesehen, die Produktionstechnologie, die Kultivierungsmethode, die Substratrezepturen und die Gehäusekonstruktion weiterzuentwickeln und schrittweise in Richtung einer wirtschaftlichen und reproduzierbaren Fertigung zu überführen.

Aktualisierung gegenüber der ursprünglichen Verwertungsstrategie: Im Projekt wurde die grundsätzliche technische Machbarkeit der formwerkzeuglosen Herstellung großformatiger Bauteile aus einer myzelhaltigen Holzpaste nachgewiesen. Hierzu wurden eine verarbeitbare Materialrezeptur, ein angepasster Pastenextrusionsprozess, konstruktive Maßnahmen zur Verringerung des trocknungsbedingten Verzugs und ein Demonstrator im Maßstab 1:1 realisiert. Ein besonderer technologischer Mehrwert liegt in der erreichten hohen Dimensionsstabilität in Z-Richtung, die deutlich über die mit der eingesetzten Standardtechnik erzielbaren Ergebnisse hinausgeht. Diese Lösung ist auch unabhängig vom anschließenden Myzelwachstum für großformatige Bauteile im Möbel- und Innenausbau, in der Akustik, im Bauwesen sowie im Fahrzeug- und Messebau von Interesse.

Eine reproduzierbare Kultivierung mit gleichmäßigem Myzelwachstum und homogener Schaumausbildung konnte hingegen noch nicht erreicht werden. Dadurch standen keine vergleichbaren Probenserien für eine belastbare akustische Charakterisierung zur Verfügung. Vor einer Überführung in marktfähige Audioprodukte müssen daher die Ausgangsmaterialien standardisiert, die Kultivierungsbedingungen besser kontrolliert und die biologischen Streuungen reduziert werden. Anschließend sind reproduzierbare Probenserien herzustellen, akustisch und mechanisch zu untersuchen und unter anwendungsnahen Bedingungen zu validieren. Die kurzfristige Verwertung wurde deshalb von einer unmittelbaren Produktüberführung zu einer stufenweisen Stabilisierung und branchenoffenen Weiterentwicklung der Technologie angepasst.

Die Wertschöpfung liegt zunächst im aufgebauten Material-, Prozess- und Konstruktionswissen. Dieses kann in öffentlich geförderten Folgevorhaben, bilateralen Entwicklungsprojekten, Machbarkeitsstudien und Beratungsleistungen eingesetzt werden. Mit potenziellen Anwendern aus der Akustik- und Baubranche finden bereits direkte Gespräche über eine Weiterentwicklung und Verwertung statt. Neben der Audioindustrie bestehen Anwendungsmöglichkeiten in der Raumakustik, im Möbel- und Innenausbau, im Fahrzeug- und Caravan-Interieur, im Bauwesen, im Messebau sowie bei biologisch abbaubaren Verpackungs- und Leichtbaustrukturen.

Eine zentrale Rolle in der gemeinsamen Verwertung übernimmt HAUTE INNOVATION. Der Verbundpartner unterstützt die Aufbereitung und Kommunikation der technologischen Ergebnisse, die Identifikation neuer Anwendungsfelder, die Ermittlung von Anwenderanforderungen sowie die Vernetzung mit Unternehmen, Designschaffenden und weiteren Transferpartnern. Im Projekt wurden die Technologie und die Demonstratoren auf Fachmessen, in Ausstellungen und in Workshops vorgestellt. Live-Druckvorführungen und Gespräche mit Teilnehmenden ermöglichten es, konkrete Bauteile und Produktideen aus unterschiedlichen Branchen zu diskutieren und hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit zu bewerten.

Diese modellhaften Transferformate sollen als Anwendungsworkshops, Demonstrationsveranstaltungen und branchenbezogene Machbarkeitsstudien weitergeführt werden. Damit wird die Verwertung nicht auf ein einzelnes Transmission-line-Gehäuse oder ein einzelnes Unternehmen begrenzt. Das Fraunhofer IWU übernimmt weiterhin die technische Entwicklung und Validierung der Material- und Produktionsprozesse. HAUTE INNOVATION unterstützt die branchenübergreifende Technologiekommunikation, die Einbindung potenzieller Anwender und die Übertragung der Ergebnisse auf neue Märkte. Gemeinsam wird die Technologie damit schrittweise zu einer branchenoffenen Plattform für großformatige Bauteile aus biogenen Pasten weiterentwickelt.

2.4.2 Fortschritt Dritter auf dem Gebiet des Vorhabens

Während der Projektlaufzeit wurde im Juni 2025 durch Chen et al. unter Beteiligung von Vera Meyer von der TU Berlin eine Arbeit zur extrusionsbasierten additiven Fertigung lebender Myzelkomposite veröffentlicht. Dabei wurde eine Paste aus lebendem *Fomes-fomentarius*-Myzel, Rapsstroh und Natriumalginat mit einer 1,6-mm-Düse zu komplexen dreidimensionalen Leichtbaustrukturen verarbeitet. Die Studie bestätigte grundsätzlich die additive Verarbeitbarkeit lebender myzelhaltiger Pasten. Zur Stabilisierung der Geometrie war jedoch eine manuelle Komprimierung des während der Kultivierung entstehenden Luftmyzels erforderlich. Zudem zeigte sich, dass die Gefriertrocknung Form und Abmessungen besser erhielt als die Konvektionstrocknung. Die Ergebnisse bestätigen die Relevanz der im Vorhaben mycoustics untersuchten Fragestellungen zur Formstabilität, Kultivierung und Trocknung. Aufgrund der abweichenden Pilzart, Rezeptur, Düsengröße und Nachbehandlung war eine unmittelbare Übertragung auf die entwickelte großformatige Myzel-Holz-Prozesskette jedoch nicht möglich. Die Veröffentlichung hatte daher keinen direkten Einfluss auf die bereits durchgeführten Arbeiten, ist aber für die zukünftige Optimierung der Kultivierungs- und Trocknungsstrategie relevant.

Darüber hinaus wurde im Oktober 2025 eine internationale Patentanmeldung zu lebenden Myzelkompositen für Liquid Deposition Modeling und pastenextrusionsbasierte additive Fertigung veröffentlicht (WO2025207789A1 - Living mycelium composite material for liquid deposition modeling (ldm) and paste-extrusion based additive manufacturing

(pebam) with extrusion-based 3d printing and robotic additive manufacturing process). Diese betrifft nach den öffentlich zugänglichen Angaben unter anderem Materialzusammensetzungen und Prozessabläufe für den Extrusionsdruck. Daraus ergaben sich keine Änderungen für die bereits durchgeführten Projektarbeiten. Die Schutzrechtslage sollte jedoch vor einer wirtschaftlichen Verwertung, Lizenzierung oder eigenen Schutzrechtsanmeldung erneut fachlich geprüft werden.

Weitere wissenschaftliche, technische, gesetzliche oder gesellschaftliche Entwicklungen mit einem unmittelbaren Einfluss auf die Durchführung des Vorhabens wurden nicht bekannt. Insbesondere konnte bei anderen Stellen keine etablierte Prozesskette identifiziert werden, die eine reproduzierbare Kultivierung großformatiger, additiv gefertigter Myzelbauteile mit gleichmäßiger Schaumausbildung und definierten akustischen Eigenschaften ermöglicht. Die Fortschritte Dritter beeinflussten daher nicht die Zielsetzung oder Durchführung des Projekts, sind aber bei der weiteren Verwertung und bei zukünftigen Schutzrechtsprüfungen zu berücksichtigen.

2.4.3 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Veranstaltung/Publikation	***Ort***	***Datum / Zeitraum***	***Beteiligte***	***Vorgestellte Inhalte und durchgeführte Aktivitäten***	***Beitrag zur Verwertung***
Futurium Ausstellung "Materialschätze der Zukunft"	*Futurium Lab, Alexanderufer 2, 10117 Berlin*	1. September 2024 bis Sommer 2027	Prof. Dr. Sascha Peters und Diana Drewes, HAUTE INNOVATION; Zukunftsinteressierte, Politiker und Besucher aus der breiten Gesellschaft	Vorstellung des Projekts Mycoustics im Rahmen einer Ausstellung im Futurium Lab. Das Exponat wurde während der Projektlaufzeit mehrfach aktualisiert. Seit Ende Februar 2026 ist der finale Demonstrator zu sehen. Im Jahr 2024 zählte das Futurium mehr als 700.000 Besuchende, in 2025 waren es knapp 670.000.	Allgemeinverständliche Wissenschaftskommunikation und öffentliche Sensibilisierung für biogene Werkstoffe und kreislauffähige Produktionsverfahren..
3D KonzeptLabs, Verband 3D-Druck	*Fraunhofer Forum Berlin, Anna-Louisa-Karsch-Straße 2, 10178 Berlin*	24./25. September 2024	Fraunhofer IWU; Fabian Ziervogel; Prof. Dr. Sascha Peters, HAUTE INNOVATION; Fachbesucher aus Industrie und Forschung	Vorstellung des Projekts Mycoustics im Rahmen der Jahresveranstaltung des Verbands 3DDruck. Präsentiert wurden die Inhalte des Forschungsvorhabens im Kontext der aktuellen Myzelforschung und der additiven Verarbeitung biogener Pasten.	Direkter Austausch mit Fachbesuchern aus Produktionstechnik, additiver Fertigung. Vorstellung der Technologie gegenüber potenziellen Anwendern und Identifikation von Anknüpfungspunkten für weitere Forschungs- und Industrieprojekte.
Orgatec 2024	Koelnmesse, Köln	Messeaufenthalt etwa eine Woche; offizielle	Prof. Dr. Sascha Peters und Diana Drewes von	Im Rahmen der Sonderfläche "Circular Biomaterials" wurde das Mycoustics-Vorhaben und die Vision zur additiven Herstellung	Internationale Sichtbarkeit des Projekts und direkte Ansprache von Industrieunternehmen, und

		Messetage 22. bis 25. Oktober 2024	HAUTE INNOVATION	industrieller Bauteile für Interieur und Design mit Biomaterialien vorgestellt. Die internationale Leitmesse der Möbelindustrie und Interieur-branchen umfasste mehr als 700 Aussteller und hatte 50.000 internationale Besucher sowie Teilnehmende aus 126 Ländern.	möglichen Kooperationspartnern. Diskussion der Übertragbarkeit auf Interieur, Akustik und Design und weitere industrielle Anwendungen.
Ausstellung "Zukünfte. Materialien und Design von Morgen"	GRASSI Museum für Angewandte Kunst, Leipzig	20. November 2024 bis 24. August 2025	Prof. Dr. Sascha Peters und Diana Drewes, HAUTE INNOVATION; Zukunfts-, Kultur und Designinteressierte	Vorstellung des Projekts Mycoustics im Rahmen einer Ausstellung, mit einem Schwerpunkt auf die Zukunft von Biomaterialien für Design und Gestaltung. Das Exponat wurde während der Projektlaufzeit mehrfach aktualisiert. Im Jahr 2024 zählte das Grassimuseum 109.000 Besuchende, in 2025 waren es 97.000.	Allgemeinverständliche Wissenschaftskommunikation und öffentliche Sensibilisierung für biogene Werkstoffe und kreislauffähige Produktionsverfahren.
Ausstellungskatalog "Ready Made Future. Materialien und Design von Morgen"	GRASSI Museum für Angewandte Kunst, Leipzig	20. November 2024	Prof. Dr. Sascha Peters, HAUTE INNOVATION	Mycoustics-Artikel im Katalog zur Ausstellung im Grassi Museum für Angewandte Kunst Leipzig	Allgemeinverständliche Wissenschaftskommunikation und öffentliche Sensibilisierung für biogene Werkstoffe und kreislauffähige Produktionsverfahren.
Elmia Subcontractor 2024	Elmia, Jönköping, Schweden	Messeaufenthalt knapp eine Woche; offizielle Messetage 12. bis 14. November 2024	Prof. Dr. Sascha Peters von HAUTE INNOVATION	Im Rahmen der Sonderfläche "Innodex" wurde Mycoustics. und die Vision der additiven Produktion industrieller Bauteile mit mit myzelhaltiger Holzpaste, vorgestellt. Die Messe umfasste rund 1.000 Aussteller, mehr als 10.000 Besuchende sowie Teilnehmende aus etwa 30 Ländern.	Internationale Sichtbarkeit des Projekts und direkte Ansprache von Industrieunternehmen, Zulieferern und möglichen Kooperationspartnern. Diskussion der Übertragbarkeit auf Fertigungstechnik, Interieur, Akustik, Design und weitere industrielle Anwendungen.

3DDruck Verband	website	11. Dezember 2024	Prof. Dr. Sascha Peters von HAUTE INNOVATION, Kommunikationsabteilung des Fraunhofer IWU	Vorstellung der mycoustics-Projektinhalte in einem allgemeinverständlichen Artikel	Allgemeinverständliche Wissenschaftskommunikation und öffentliche Sensibilisierung für die additive Verarbeitbarkeit myzelbasierter Pasten.
Designers Tower 2025	PASSAGEN Interior Design Week 2025, Stoff Pavillon Moeller, Hahnenstraße 8, 50667 Köln	15. Januar 2025, 18-19 Uhr	Prof. Dr. Sascha Peters von HAUTE INNOVATION	Vortrag und Talk zum Thema "Myco Materials für komplexes Produktdesign". Die PASSAGEN sind Deutschlands größtes dezentrales Designfestival und finden seit 1990 jedes Jahr im Januar in Köln statt. Der Designers Tower ist eine renommierte Gruppenausstellung für innovatives Möbel- und Interior-Design. Vortrag und Talk besuchten rund 50 Teilnehmende.	Direkter Austausch mit Designern und Anwendern zu den Potenzialen des 3D-Drucks mit Pilzmyzel für die individuelle Herstellung von Design- und Interieurprodukten.
Produktionstechnisches Gespräch „Funktionsdruck: Flexible Fertigung elektrisch funktionalisierter Bauteile“	Fraunhofer IWU Dresden, Nöthnitzer Straße 44, Dresden	30. Januar 2025, 16:30 bis 20:00 Uhr	Fraunhofer IWU; Lukas Boxberger; Fachbesucher aus Industrie und Forschung	Vorstellung des Projekts mycoustics im Rahmen des produktionstechnischen Austauschs am Fraunhofer IWU. Präsentiert und diskutiert wurden die additive Verarbeitung biogener und myzelhaltiger Holzpasten, die formwerkzeuglose Herstellung komplexer Bauteile sowie mögliche Anwendungen des Verfahrens. Die Veranstaltungsreihe richtet sich an Anbieter, Anwender und Zulieferer der Fertigungstechnik und verbindet Technologievorstellungen mit fachlichem Austausch. Das Fraunhofer IWU veröffentlichte Termin, Programm und Veranstaltungsinformationen auf seiner Website.	Direkter Austausch mit Fachbesuchern aus Produktionstechnik, additiver Fertigung und Funktionsintegration. Vorstellung der Technologie gegenüber potenziellen Anwendern und Identifikation von Anknüpfungspunkten für weitere Forschungs- und Industrieprojekte.
Intec und	Leipziger	11. bis 14.	Fraunhofer	Präsentation des Projekts	Ansprache von

Zuliefermesse Z 2025	Messe, Leipzig	März 2025	IWU und beteiligte Projektmitarbeitende	mycoustics, der additiven Verarbeitung biogener und myzelhaltiger Holzpasten sowie bisheriger Bauteile und technologischer Ansätze. Die Industriemesse Intec 2025 zählte im Messeverbund mit der Zuliefermesse (Z) mehr als 17.800 Besucher aus 42 Ländern.	Fachbesuchern aus Fertigungstechnik, Maschinenbau, Fahrzeugbau, Zulieferindustrie und additiver Fertigung. Diskussion möglicher industrieller Einsatzfelder außerhalb der ursprünglich betrachteten Audioanwendung.
CMF Conference "Haus of Automotive"	Milan Design Weel, 31 Via Tortona, Mailand/Italien	7./8. April 2025, 10-18 Uhr	Prof. Dr. Sascha Peters von HAUTE INNOVATION	Mycoustics wurde im Rahmen einer Diskussion zum Thema "Biomaterials for Automotive Interior" vorgestellt und die Potenziale erläutert. Die Fachkonferenz "Haus of Automotive" bringt Interiordesigner der großen OEM zusammen und diskutiert zukünftige Entwicklungen. Das Event hatte knapp 100 Teilnehmende unter anderem Designer und Verantwortliche von Stellantis, Zeekr, Volkswagen, Lotus, Polestar und Kia.	Direkter Austausch mit Designern der Automobilindustrie zu den Potenzialen und Einsatzfeldern von Biomaterialien und Pilzmyzel und potenziellen Anwendungen in Design und Fahrzeug-Akustik.
Futurium	*website*	24. März 2025	Prof. Dr. Sascha Peters, HAUTE INNOVATION	Ankündigung eines Workshops rund um das Mycoustics-Forschungsvorhaben am 10. April 2025 im Futurium Lab.	Allgemeinverständliche Wissenschaftskommunikation und Teilnehmerwerbung für die Veranstaltung zur Diskussion der additiven Verarbeitbarkeit myzelbasierter Druckmaterialien.
Futurium Open Lab Abend „3D-Druck mit Holz und Pilzmyzel"	*Futurium Lab, Alexanderufer 2, 10117 Berlin*	10. April 2025, 17:00 bis 20:00 Uhr	Lukas Boxberger, Fraunhofer IWU; Prof. Dr. Sascha Peters, HAUTE INNOVATION; Uwe Bodenschatz, TU Dresden;	Vorstellung des Projekts mycoustics, der Verbindung von additiver Fertigung und natürlichem Myzelwachstum sowie der angestrebten Ausbildung schallabsorbierender und schallreflektierender Oberflächen. Ergänzend wurden	Allgemeinverständliche Wissenschaftskommunikation und öffentliche Sensibilisierung für biogene Werkstoffe und kreislauffähige Produktionsverfahren.

			Teilnehmende des Open Lab Abends	der 3D-Druck mit natürlichen Holzwerkstoffen demonstriert, Proben und Bauteile vorgestellt und mögliche Anwendungen mit den Teilnehmenden diskutiert.	Direkter Austausch mit Teilnehmenden zu Akzeptanz, Produktideen und potenziellen Anwendungen.
Workshop „Mycoustics und 3D-Holzdruck" beziehungsweise „Pilze und Biomaterialien für Sound und Raumakustik"	GRASSI Museum für Angewandte Kunst, Leipzig	7. Mai 2025, ab 16:00 Uhr	Fraunhofer IWU; HAUTE INNOVATION; TU Dresden; Designer, Entwickler und weitere Workshopteilnehmende	Vorstellung der Forschungsprojekte mycoustics und addwood. Präsentiert wurden der 3D-Druck mit myzelhaltigen Holzpasten, die Herstellung eines Transmissionline-Gehäuses sowie die Nutzung unterschiedlicher Myzeloberflächen für akustische Anwendungen. Im Workshop wurden Druckprozesse live demonstriert. Außerdem wurden von Teilnehmenden mitgebrachte Bauteile, Entwürfe und Produktideen hinsichtlich einer Umsetzung mit biogenen Druckmaterialien erörtert.	Vertiefter Austausch mit potenziellen Anwendern aus Interieurdesign, Sound, Akustik und Produktentwicklung. Ermittlung konkreter Anforderungen und Identifikation zusätzlicher Anwendungsfelder für biogene, additiv gefertigte Bauteile.
WPP Design-Campus	Berlin Design Week 2025, WPP Campus, Litfaß-Platz, Berlin Mitte	16. Mai 2025, 14 – 22 Uhr	Prof. Dr. Sascha Peters von HAUTE INNOVATION	Mycoustics wurde im Rahmen der KeyNote zum Thema "Circular Materials4Future" vorgestellt. Die Berlin Design Week begreift Design als treibende Kraft für gesellschaftliche und ökologische Veränderungen und findet seit 2016 statt. Vortrag und Talk besuchten mehr als 100 Fachbesucher aus Design und Interieur.	Direkter Austausch mit Designern und Anwendern zu den Potenzialen von Biomaterialien und Pilzmyzel für Design- und Interieurprodukte.
Interzum 2025	Koelnmesse, Köln	Messeaufenthalt etwa eine Woche; offizielle Messetage 20. bis 23. Mai 2025	Prof. Dr. Sascha Peters und Diana Drewes von HAUTE INNOVATION, Uwe Bodenschatz, TU Dresden	Anlässlich der Sonderfläche "Biocircular Materials" wurde das Mycoustics-Vorhaben im Rahmen einer Livepräsentation mit 3D-Drucker vor Ort den Besuchenden vorgestellt und Gespräche mit möglichen Anwendern geführt.	Internationale Sichtbarkeit des Projekts und direkte Ansprache von Industrieunternehmen, Produzenten akustisch wirksamer Interieurbauteile und der internationalen

				Außerdem wurde mycoustics in einem Vortrag auf der interzum stage präsentiert. Die internationale Leitmesse für die Zulieferindustrie für Interieurbranchen umfasste rund 1.600 Aussteller und hatte 60.000 internationale Besucher sowie Teilnehmende aus 157 Ländern. Der interzum stage Vortrag hatte knapp internationale 100 Besuchende	Zulieferindustrie für Interior und Design. Diskussion der Übertragbarkeit auf Interieur, Akustik und Design und weitere industrielle Anwendungen.
ALUO Mycelium	Academy of Fine Arts and Design, University of Ljubljana, Dolenjska cesta 83, Ljubljana/Slowenien	2. Juni 2025, 16 – 19 Uhr	Prof. Dr. Sascha Peters und Diana Drewes von HAUTE INNOVATION	Mycoustics wurde im Rahmen eines Vortrags und Workshops zum Einsatz pilzmyzelbasierter Materialien vorgestellt. Der Vortrag beinhaltete Ergebnisse einer Trendanalyse Pilzanwendungen im Design. Die Academy of Fine Arts and Design (ALUO) der Universität Ljubljana ist die höchste und renommierteste Bildungseinrichtung für Bildende Kunst, Design und Restaurierung in Slowenien.	Direkter Austausch mit Designern zu den Potenzialen von Pilzmyzel für Designer.
Material Matters – Non Tox Day	Chamber of Commerce and Industry of Slovenia (GZS), Dimičeva 13, Ljubljana/Slowenien	3. Juni 2025, 11 – 15 Uhr	Prof. Dr. Sascha Peters und Diana Drewes von HAUTE INNOVATION	Mycoustics wurde im Rahmen der Keynote der Konferenz vorgestellt. Die Veranstaltung wurde von der Nachhaltigkeitsinitiative Non-Tox Uni Kum organisiert und brachte Produzenten, Designer und Anwender chemiefreier Biomaterialien und Fertigungsverfahren zusammen und hatte vor Ort und Online 120-150 Teilnehmende.	Internationale Sichtbarkeit des Projekts und direkte Ansprache von Industrieunternehmen, Zulieferern und möglichen internationalen Kooperationspartnern.
md Magazin	Fachmagazin für Innenarchitektur und Design,	Ausgabe 7/8-2025	Prof. Dr. Sascha Peters von HAUTE INNOVATION	Mycoustics wurde im Artikel "Gewachsene Gestaltung – Pilzmyzel für Interior und Design" der Zielgruppe	Wissenschaftskommunikation und Sensibilisierung der Bedeutung pilzbasierter Prozessketten

	Konradin Verlag, Stuttgart			der Architekten und Designer vorgestellt.	für Design und Architektur.
Fachworkshop "Revolution 3D-Druck"	3D-Werk von Daimler Truck, Industriestraße 29 78112 St. Georgen im Schwarzwald	11. September 2025, 8:30 – 15:30 Uhr	Prof. Dr. Sascha Peters von HAUTE INNOVATION	Mycoustics wurde im Rahmen eines Vortrags zu Druckmaterialien aus Pilzmycel vorgestellt. Die Veranstaltung wurde gemeinsam vom Verband 3DDruck und Daimler Truck organisiert und zielte auf Fachteilnehmer aus der Automobilindustrie und der additiven Produktion ab.	Ansprache von Fachinteressierten und Möglichkeit zum Finden möglicher Kooperationspartner und Automotive und 3D-Druck.
Bioraffinerietag	Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ), Torgauer Straße 116, Leipzig	11. September 2025, 8:30 – 15:30 Uhr	Prof. Dr. Sascha Peters von HAUTE INNOVATION	Mycoustics wurde im Rahmen eines Vortrags zu neuen Quellen für biozirkuläre Materialien vorgestellt. Der Bioraffinerietag bringt Einblicke in Schlüsseltechnologien der Biomassenutzung. Pilzmyzel und insbesondere die additive Verarbeitung stellen vollkommen neue Ansätze dar. Der 6. Bioraffinerietag verzeichnete über 100 Teilnehmende aus Industrie und Wissenschaft.	Ansprache von Fachinteressierten aus Industrie und Forschung. Möglichkeit zur Identifikation neuer Kooperationspartner.
dds Magazin	Fachmagazin für Möbel und Innenausbau, Konradin Verlag, Stuttgart	Ausgabe 9-2025	Prof. Dr. Sascha Peters von HAUTE INNOVATION	Die additive Prozesskette von Mycoustics wurde im Artikel “Biozirkuläre Materialien" wurde in ihren Potenzialien für den Möbelbau vorgestellt.	Sensibilisierung von Möbel- und Interiordesignern zur Verwendung kreislauffähiger pilzbasierter Prozessketten.
Smart Materials Summit	ZEISS Innovation Hub am KIT, Hermann-von-Helmholtz-Platz 6, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen	5./6. November 2025, 9-18 Uhr	Prof. Dr. Sascha Peters von HAUTE INNOVATION; Holger Kunze vom Fraunhofer IWU	Mycoustics wurde im Rahmen eines Vortrags zu “Smarten Biomaterialien für Industrie und Design” vorgestellt. Mit dem Smart Materials Summit organisiert das Netzwerk Innovationsnetzwerk “smart3” jährlich ein Event zur Vernetzung industrieller und wissenschaftlicher Forschung. Es	Ansprache von Fachinteressierten aus Industrie und Forschung zu den Potenzialen smarter Materialien aus biogenen Quellen.

				kamen mehr als 50 Fachbesucher.	
LinkedIn-Post	social-media	8. November 2025	Lukas Boxberger vom Fraunhofer IWU	Post zur Präsentation des erfolgreichen 1:1 Drucks und Ankündigung Messen ELMIA Subcontractor 2025 und Formnext 2025	Digitale Ansprache internationaler Netzwerke und Verbreitung der Bedeutung 3D druck komplexer Materialien (Kanal Lukas Boxberger: 108 Likes, 7568 Impressions, 5117 erreichte Mitglieder – davon 91% außerhalb des eigenen Netzwerks)
Elmia Subcontractor 2025	Elmia, Jönköping, Schweden	Messeaufenthalt etwa eine Woche; offizielle Messetage 11. bis 13. November 2025	Fraunhofer IWU gemeinsam mit Prof. Dr. Sascha Peters von HAUTE INNOVATION	Eigener beziehungsweise gemeinsamer Messestand zur Präsentation von mycoustics. Vorgestellt wurden das PDM-Verfahren, die entwickelte myzelhaltige Holzpaste, gedruckte Materialproben, die Herstellung großformatiger Bauteile sowie die Vision eines additiv gefertigten Transmissionline-Gehäuses mit unterschiedlichen akustischen Materialbereichen. Die Messe umfasste rund 1.000 Aussteller, mehr als 10.000 Besuchende sowie Teilnehmende aus etwa 30 Ländern.	Internationale Sichtbarkeit des Projekts und direkte Ansprache von Industrieunternehmen, Zulieferern und möglichen Kooperationspartnern. Diskussion der Übertragbarkeit auf Fertigungstechnik, Interieur, Akustik, Design und weitere industrielle Anwendungen.
LinkedIn-Post	social-media	11. November 2025	Prof. Dr. Sascha Peters von HAUTE INNOVATION, Lukas Boxberger vom Fraunhofer IWU	In zwei Posts wurde die Präsentation von Mycoustics anlässlich der ELMIA Subcontractor 2025 angekündigt und in den Netzwerken von Haute Innovation und dem Fraunhofer IWU verbreitet.	Digitale Ansprache internationaler Netzwerke und Verbreitung der Bedeutung pilzbasierter Materialien. (HAUTE INNOVATION 133 Likes, 103 Likes, 3962 Impressions, 2894 Impressions)
Formnext 2025	Messe Frankfurt, Frankfurt	18. bis 21. November 2025	Fraunhofer IWU und Projektbeteiligte	Ausstellung des Projekts mycoustics auf einem Messestand. Präsentiert	Ansprache eines internationalen Fachpublikums aus additiver

	am Main		im Rahmen einer Messestandbeteiligung, Prof. Dr. Sascha Peters von Haute Innovation im formnext Stageprogramm	wurden die additive Verarbeitung biogener Pasten, der angepasste Paste-Deposition-Modeling-Prozess, gedruckte Myzel-Holz-Bauteile und die Übertragung des Verfahrens vom Probekörper auf größere Demonstratorgeometrien. Prof. Dr. Sascha Peters stellte in einem Vortrag die Ergebnisse der Trendanalyse zum 3D-Druck mit Pilzen vor. Die formnext 2025 erzielte mit mehr als 38.000 Besuchenden ein Rekordergebnis.	Fertigung, Anlagenbau, Materialentwicklung und industrieller Produktion. Gewinnung von Rückmeldungen zur technologischen Anschlussfähigkeit und zu möglichen Folgeanwendungen.
LinkedIn-Post	social-media	28. November 2025	Prof. Dr. Sascha Peters von HAUTE INNOVATION	In einem Post wurde der Vortrag "3D-Druck mit Pilzen" anlässlich der formnext 2025 rekapituliert und das Mycoustics-Vorhaben zusammengefasst.	Digitale Ansprache internationaler Netzwerke und Verbreitung der Projektinhalte. (141 Likes, 4549 Impressions)
"From Nature to Nature", Ausstellung, Konferenz, Workshop	Designhaus Darmstadt, Mathildenhöhe, Eugen-Bracht-Weg 6, 64287 Darmstadt	5.–8. Februar 2026	Prof. Dr. Sascha Peters und Diana Drewes, HAUTE INNOVATION; Christoph Eppler vom Fraunhofer IWU, Zukunfts-, Kultur und Designinteressierte	Als Abschlussveranstaltung des Mycoustics Vorhabens und zur Präsentation des finalen Demonstrators aus dem Projekt wurde eine Ausstellung rund um biozirkuläre Materialien und Produktionsverfahren im Rahmen des WDC (World Design Capital) Frankfurt RheinMain 2026 umgesetzt. Das Event bestand aus Ausstellung, Konferenz, Workshoptagen mitsamt Führungen durch die Ausstellung. Insgesamt wurde 200 Besuchende gezählt.	Direkter Austausch mit Fachbesuchern aus Design, additiver Fertigung und nachhaltiger Produktion. Vorstellung der Technologie gegenüber potenziellen Anwendern in Akustik und Design.
LinkedIn-Post	social-media	6. Februar 2026	Prof. Dr. Sascha Peters von HAUTE INNOVATION	In einem Post wurde die Eventreihe “From Nature to Nature” zur Präsentation der Endergebnisse des Mycoustics Projekt vorgestellt.	Digitale Ansprache internationaler Netzwerke im Design und Sensibilisierung der Bedeutung pilzbasierter und biozirkulärer Materialien im Design. (106 Likes, 3647

					Impressions)
Internationale Online Konferenz "Future of Bioadhesives"		24. Februar 2026 , 11:00 – 16:00 Uhr	Prof. Dr. Sascha Peters von HAUTE INNOVATION	Im Rahmen des Vortrags "Pilzmyzel als Bio-Klebstoff" wurde Mycoustics vorgestellt und Potenziale zur Nutzung von Pilzmyzel als natürliches Bindemittel für den Ersatz petrochemisch erzeugter Klebstoffe diskutiert. Die internationale Onlinekonferenz hatte maximal 160 Teilnehmene und Referenten aus den USA, Spanien, Finnland und Frankreich.	Ansprache von Fachinteressierten aus der Industrie zur verstärkten Nutzung von Pilzmyzel in additiven Fertigungsverfahren. Möglichkeit zur Identifikation neuer internationaler Kooperationspartner.
LinkedIn-Post	social-media	28. Februar 2026	Prof. Dr. Sascha Peters von HAUTE INNOVATION	In einem Post wurde die Präsentation des finalen Mycousctics-Demonstrators in der Ausstellung "Materialien der Zukunft" im Futurium Lab Berlin angekündigt.	Digitale Ansprache und öffentliche Sensibilisierung für biogene Werkstoffe und kreislauffähige Produktionsverfahren. (179 Likes, 6002 Impressions)
Konferenzteilnahmen (Wissenschaft)	Entfällt	Bis zum Berichtszeitpunkt	Entfällt	Im Rahmen des Projekts erfolgte keine Teilnahme an einer wissenschaftlichen Konferenz mit einem eigenen Konferenzbeitrag. Die durchgeführten Workshops, Messeauftritte und produktionstechnischen Gespräche sind der Technologiekommunikation und dem anwendungsorientierten Transfer zuzuordnen, nicht einer wissenschaftlichen Konferenzteilnahme.	Keine konferenzbezogene Verwertung. Die Kommunikation und Verwertung der Ergebnisse erfolgten stattdessen über Fachmessen, Workshops, Ausstellungen, Live-Demonstrationen und den direkten Dialog mit potenziellen Anwendern.
Erfindungen und Patentanmeldungen	Entfällt	Bis zum Berichtszeitpunkt	Fraunhofer IWU und Verbundpartner	Aus dem Projekt wurde keine Patentanmeldung eingereicht. Ebenso wurde im dokumentierten Projektstand kein erteiltes Schutzrecht in Anspruch genommen. Die Vorhabenbeschreibung sah grundsätzlich eine Prüfung	Derzeit keine schutzrechtsbezogene Verwertung. Eine erneute Prüfung potenziell schutzfähiger Teilergebnisse kann nach weiterer Stabilisierung der Material-, Druck-

				der Patentfähigkeit des entwickelten Verfahrens vor.	und Kultivierungsprozesse erfolgen.

2.4.4 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

Die Notwendigkeit der Zuwendung ergab sich aus den erheblichen wissenschaftlich-technischen Risiken bei der Verarbeitung lebender Myzelwerkstoffe. Insbesondere die Kontaminationsanfälligkeit, die begrenzte Reproduzierbarkeit biologischer Wachstumsprozesse sowie die zeitintensive Kultivierung waren mit einem Entwicklungsrisiko verbunden, das nicht im Rahmen üblicher Industrieaufträge oder der Grundfinanzierung des Fraunhofer IWU getragen werden konnte. Die Förderung war daher Voraussetzung, um die neuartige Prozesskette von der Materialentwicklung über den Pastenextrusionsdruck und die Kultivierung bis zur Herstellung eines großformatigen Demonstrators systematisch untersuchen zu können.

Die durchgeführten Arbeiten waren zur Erreichung der Projektziele notwendig und in ihrem Umfang angemessen. Die verfügbaren Ressourcen wurden entsprechend dem Arbeitsplan für die Entwicklung der Myzel-Holz-Paste, die Anpassung der Drucktechnik, die Untersuchung der Formgebung, die Kultivierungsversuche, die Trocknung und die Demonstratorfertigung eingesetzt. Aufgrund der festgestellten starken biologischen Streuungen wurden die ursprünglich für akustische Messungen vorgesehenen Kapazitäten sachgerecht für zusätzliche Kultivierungsversuche verwendet. Da keine ausreichend homogenen und reproduzierbaren Probenserien hergestellt werden konnten, hätte eine akustische Vermessung keine belastbaren Vergleichsergebnisse erbracht. Die Anpassung der Arbeiten war daher wissenschaftlich erforderlich und wirtschaftlich angemessen. Sie ermöglichte eine vertiefte Untersuchung der Prozessgrenzen und lieferte wesentliche Erkenntnisse für die weitere Entwicklung additiv gefertigter Myzelbauteile.