

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

„MycoForm - Entwicklung eines Verfahrens (Produkt 1, P1), mit dem gleichzeitig Formteile, wahlweise als Verpackungsformteile (Produkt 2, P2) oder als Dämmstoffplatten (Produkt 3, P 3) ausführbar, sowie Speisepilze (Produkt 4, P4) aus Agrarreststoffen erzeugt werden“

Bengt Verworner, Marcel Pohl, Walter Stinner, Mathias Stur

FKZ: 031B1323

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 031B1323 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor.

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH

Torgauer Straße 116
04347 Leipzig

Tel.: +49 (0)341 2434-112
Fax: +49 (0)341 2434-133

www.dbfz.de
info@dbfz.de

Datum: 16.03.2023

Auftraggeber oder
Zuwendungsgeber
(bei Forschungsförderung)

Projektträger Jülich

Kontakt:

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
Torgauer Straße 116
04347 Leipzig
Tel.: +49 (0)341 2434-112
Fax: +49 (0)341 2434-133
E-Mail: info@dbfz.de
Internet: www.dbfz.de

Bengt Verworner

Tel.: +49 (0)341 2434-390
E-Mail: bengt.verworner@dbfz.de

Dr. Marcel Pohl

Tel.: +49 (0)341 2434-471
E-Mail: marcel.pohl@dbfz.de

Prof. Dr. Walter Stinner

Tel.: +49 (0)341 2434-524
E-Mail: walter.stinner@dbfz.de

Mathias Stur

Tel.: +49 (0)341 2434-527
E-Mail: mathias.stur@dbfz.de

Erstelldatum: 16.03.2023

Projektnummer DBFZ: 3230107

Projektnummer Auftraggeber
oder Zuwendungsgeber:
Projektträger Jülich

FKZ: 031B1323

Gesamtseitenzahl + Anlagen: 35

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis.....	V
1 Einleitung	6
2 AP 1 Screening von Pilzen und Substraten	6
2.1 Beurteilung geeigneter Reststoffe	7
2.2 Beurteilung geeigneter Pilzkulturen	7
2.3 orientierende Versuche der Pilzkultivierung.....	14
2.4 Folgeuntersuchungen.....	15
3 AP 2 Marktrecherche, Wirtschaftlichkeit	17
3.1 Prüfung patentrechtliche bzw. Konkurrenz-Situation	17
3.2 Marktbeurteilung Verpackungsformteile und Dämmstoffe.....	18
3.2.1 Verpackungsformteile	18
3.2.2 Dämmstoffe	20
3.3 AP 3 Marktbeurteilung, Fleischersatz- und Flexitarierprodukte	22
3.3.1 Beurteilung des Nährwertes von Pilzen und Einordnung des Stellenwertes in der menschlichen Ernährung.....	22
3.3.2 Perspektive von fleischreduzierten und Fleischersatzprodukten aus Speisepilzen	23
3.4 Rohstoffverfügbarkeit, -märkte und Konkurrenzfähigkeit	24
3.5 Geschäftsmodelloptionen und Konkurrenzfähigkeit der Produkte und des Verfahrens.....	25
4 AP 4 Verwertungsmöglichkeiten, Biogassubstrat, Biomethanpotential.....	26
4.1 Untersuchung des Biomethanpotentials der Materialien.....	27
4.2 Beurteilung der Aufschlusswirkung und Methanertragssteigerung durch pilzliche Vorbehandlung.....	29
5 AP 5 Herstellbarkeit Formteile und Dämmstoffe	30
6 AP 6 orientierende Untersuchung der Materialeigenschaften	32
6.1 Beurteilung der Dämmeigenschaften	33
6.2 Untersuchung der Brandeigenschaften.....	34
7 Gesamtbewertung der wirtschaftlichen und technischen Realisierbarkeit, Marktchancen	35
Abbildungsverzeichnis.....	36
Tabellenverzeichnis	37

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
BE	Biologische Effizienz [%], Quotient aus geernteter Frischmasse zu eingesetztem Trockenmaterial mal 100
P-Wert	Gibt an wie weit eine Kultur weitervermehrt wurde, P-Wert von 1 entspricht Kultur aus Sporen gewachsen
TS	Trockensubstanzgehalt
oTS	Organsicher Trockensubstanzgehalt
NDF	neutral detergent fiber (Neutral-Detergenz-Faser) Summe aller Gerüstsubstanzen
ADF	acid detergent fiber (Säure-Detergenz-Faser) setzt sich zusammen aus NDF abzüglich von Hemicellulosen
ADL	acid detergent lignin (Säure-Detergenz-Lignin) setzt sich zusammen aus ADF abzüglich Cellulose, entspricht dem Ligningehalt

1 Einleitung

Im vorliegenden Schlussbericht werden die wesentlichen Erkenntnis der Sondierungsphase des Förderprojektes „MycoForm“ (FKZ: 031B1323) dargestellt.

Das Projekt zielte auf Erkenntnisgewinne zur generellen Machbarkeit, Potentialen und Marktchancen einer gleichzeitigen Produktion von Speisepilzen und biogenen Produkten (Dämmplatten, Verpackungsformteile) aus den Pilzsubstraten auf Basis organischer Reststoffe. Untersucht wurde ebenfalls das Nachnutzungspotential einer energetischen Verwertung. So wurden ausgewählte Pilz-Reststoffkombinationen auf ihr Biomethanpotential, als mögliches Biogassubstrat, untersucht. Die Untersuchungen sollen den Wert einer möglichen end-of-lifecycle-Nutzung der produktionsbedingten Abfälle, das Nutzungsende von Dämmplatten und Verpackungsformteilen zeigen.

2 AP 1 Screening von Pilzen und Substraten

Im ersten Arbeitsschritt ist die Auswahl geeigneter Pilzkulturen erforderlich. Die wesentlichen Entscheidungsparameter sind dabei:

- die generelle Kultivierbarkeit, Pilze müssen saprophytische Lebensweise aufweisen und hingegen der Mykorrhiza-Pilze ohne Wirtsbaum auskommen
- Kulturdauer und Durchwachszeit
- Ertrag bzw. biologische Effizienz (BE)
- Festigkeit und Dichte des Myzels
- Speisewert (ferner Heilwert) und damit Marktwert der Fruchtkörper
- Kontaminationsanfälligkeit

Die genannten Parameter entscheiden über die Einsetzbarkeit der jeweiligen Pilzkultur. Sie haben Auswirkungen auf die Handhabbarkeit und somit auf eine spätere Umsetzung in einen größeren Maßstab. Der Fokus im vorliegenden Konzept liegt in erster Instanz auf der Produktion marktfähiger und qualitativ hochwertiger Speisepilze. Die Herstellung von Verpackungsformteilen und Dämmplatten ordnet sich hier unter und wird optimierend angepasst. Ebenso der zusätzliche Mehrwert einer end-of-LifeCycle-Nutzung und Aufwertung durch Substrataufschluss via Ligninauflösung durch die eingesetzten Weißfäulepilze wird im Gesamtkonzept hintenangestellt. Es ist nicht zielführend eine ideale Dämmplatte oder Verpackungsformteil durch Anpassung der Kultur- und Substratauswahl zu erhalten, wenn dabei keine marktfähigen Speisepilze geerntet werden können. Ebenso ist es nicht zielführend, wenn ein ideales Biogassubstrat am Ende steht, wenn die Menge oder Qualität der entstandenen Pilze nicht erreicht wird.

2.1 Beurteilung geeigneter Reststoffe

Ausschlaggebend für eine erfolgreiche, wirtschaftlich und ökologisch tragbare Realisierung der gleichzeitigen Produktion von Speisepilzen, Dämmplatten und Verpackungsformteilen sind geeignete Ressourcen für die Pilzzucht. Dabei müssen lignocellulose Rest- und Abfallstoffe die Grundlage bilden, welche als Substrat für die entsprechenden Pilze geeignet sind. Wichtig für die ökonomische und ökologische Betrachtung sind Reststoffe, welche frei verfügbar sind und ohnehin im Agrar, Forstbereich oder in nachgeschalteten Verarbeitungsindustrien anfallen. Anbaubiomassen für die alleinige Nutzung als Kultursubstrat sind nachteilig.

Ein weiteres Auswahlkriterium stellt die mengenmäßige Verfügbarkeit dar. Reststoffe sollten in großen Mengen und nicht nur regional beschränkt anfallen, um zielführende Verarbeitungs- und Vermarktungslinien aufbauen zu können. Ein nutzbares Potential muss also gegeben sein.

Zur Auswahl kommen demzufolge verschiedene Reststoffe wie beispielhaft aufgeführt.

Reststoffe des Agrarsektors

- Stroh (Weizen, Roggen, Gerste, Mais)
- Körnermaisreste (Spindeln und Lieschen)
- Paludikultur (Schilf)

Reststoffe des urbanen und industriellen Bereiches

- Biertreber
- Hanfschäben aus der Hanfverarbeitung
- Gärreste (feste Bestandteile)
- Reste aus der Insektenproduktion
- Kaffeesatz
- gebrauchte Kartonagen u. Papiererzeugnisse

2.2 Beurteilung geeigneter Pilzkulturen

Wie Anfangs beschrieben muss es sich bei den auszuwählenden Pilzarten um kultivierbare saprophytische Pilze handeln. Auch wenn bereits Mykorrhizapilze auf Substrat vermehrt wurden, kommen diese nicht ohne einen Wirtsbaum aus und bilden in Folge keine erntbaren Fruchtkörper aus. Des Weiteren ist bei der Kulturauswahl ein wichtiges Entscheidungskriterium, dass es sich um Primärersetzer und Weißfäulepilze

2 AP 1 Screening von Pilzen und Substraten

handelt. Mist- oder Kompostpilze, wie der allgegenwärtige Champignon, sind beispielsweise ungeeignet. Dieser gehört zu den koprophen Pilzen und verfügt nicht über die entsprechende Enzymausstattung um den Holzbestandteil Lignin aufzulösen. Ebenso kommen Braunfäulepilze, also Pilze welche vornehmlich Cellulose anstelle des Lignins auflösen, nicht in Frage. Für die spätere Verwendung als Biogassubstrat und mit der Funktion eines Substrataufschlusses, ist die Fähigkeit der Pilze Lignin aufzuschließen und den fermentierbaren Bestandteil Cellulose übrig zu lassen ein entscheidender Vorteil bei der späteren Vergärung. Dies grenzt die Vorauswahl hinsichtlich kultivierbarer Speisepilze ein.

Ein weiteres Auswahlkriterium stellen die Wachstumseigenschaften dar. Die Wachstumseigenschaften beinhalten die Geschwindigkeit, mit der das Pilzmyzel das jeweilige Substrat besiedelt. Neben dem zeitlichen Faktor bei der Speisepilzproduktion, reduziert ein schnelles Durchwachsen die Wahrscheinlichkeit einer Kontamination. Zudem ist ein einheitliches und möglichst dichtes Myzelwachstum entscheidend für die Stabilität der Produkte Dämmplatten und Verpackungsformteile.

Nach den oben genannten Kriterien konnte eine erste Auswahl an Speisepilzkulturen vorgenommen werden. Zur Auswahl standen:

- Kräuterseitling "Englischer Riese"
- japanischer Shii Take Donko-Typ
- amerik. Stachelbart "Bolle"
- Buchenschüppling "Chestnut"
- Nebrodini bianco "White elf"
- Abaloneseitling
- Austernseitling, Hohertragsorte (Industriebride)
- Estragonseitling
- Pioppino (südlicher Schüppling, südl. Ackerling)

Die oben genannten Kulturen sind selbst nur als Vorauswahl zu verstehen und können im Rahmen einer Machbarkeitsphase erweitert werden. Auch die Varietäten innerhalb derselben Art können um ein Vielfaches erweitert werden. Jede Varietät kann mit den entsprechenden Substraten / Substratkombinationen unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich Ertrag, Aufschlusswirkung im Sinne eines Biogassubstrates und Dämmplatten- und Formteilstabilität aufweisen.

Tabelle 1: Bewertung der vorausgewählten Pilzkulturen

Art	Besonderheiten	Marktrelevanz (Dtl.)	Preis [€/kg]	BE [%]	Speisewert	Vitalwert
-----	----------------	----------------------	--------------	--------	------------	-----------

2 AP 1 Screening von Pilzen und Substraten

Shii-take, Donko-Typ, Kulturhybride	wasserabweisende Krustenbildung	***	15	80-250	8 von 10	10 von 10
Buchenschüppling, "Chestnut mushroom", Kulturhybride	Schnellfruchter	0	k. A.	200	7 von 10	k. A.
Pioppino, Südlicher Ackerling "Samthaube" Kulturhybride	Schnellfruchter	**	15	80	8 von 10	k. A.
Nebro dini bianco, "White elf", Weißer Kräuterseitling	Gourmetpilz	*	20	60	10 von 10	6 von 10
Kräuterseitling, Sorte: "Englischer Riese" Kulturhybride	extrem große Fruchtkörper möglich	***	12-20	120	7 von 10	6 von 10
Estragonseitling, "Tarragon Oyster", Wildfund, Herkunft	stark würziges Aroma	(*)	15	100	7 von 10	k. A.
Austernseitling, Hohertragsorte	leichter Anbau	***	8-20	100-250	7 von 10	7 von 10
Abaloneseitling	Gourmetpilz, seltene Nebenfruchtformen	*	k. A.	80	8 von 10	k. A.
amerik. Igelstachelbart	extremer Schnellfruchter	**	20	80-150	7 von 10	8 von 10
BE: biologische Effizienz, d. h. das Verhältnis von Frischerntemasse zu Substratmasse (wasserfrei)						

Einige der genannten Kulturen weisen zwar sehr gute Speisewerte und damit verbunden hochpreisige Absatzmöglichkeiten auf, können aber Eigenschaften aufweisen welche für die spätere Anwendung sich nachteilig auswirken können. Dies ist z. B. eine notorisch frühe Fruchtkörperbildung ohne gute Einflussmöglichkeiten, welche für die spätere Prozessführung entscheidend sein können. Ein gutes Beispiel ist der Igelstachelbart. Dieser beginnt bereits Fruchtkörper auszubilden, wenn das Substrat erst zur Hälfte durchwachsen ist. Auch Prozessparameter wie Dunkelheit, Wärme und ein hoher CO₂-Partialdruck können die Fruchtkörperbildung nicht zurückhalten. Ein weites Ausschlusskriterium bei der Kulturwahl kann eine ungünstige Wuchsform oder Ähnliches sein. Zum Beispiel bildet der Abaloneseitling eine extrem seltene ungeschlechtliche Nebenfruchtform (Anamorphe) in Form von kleinen schwarzen Kügelchen an einem dünnen weißen Stiel aus. Diese Nebenfruchtform überzieht das gesamte Substrat und taucht bereits auf der Körnerbrut auf. Das alles sind Gründe, warum die Kulturen im Berichtszeitraum erst mal nicht weiter untersucht wurden. Im Rahmen einer Machbarkeitsphase wäre es möglich gewesen weitere Kulturen zu untersuchen, welche in der Sondierungsphase nicht detailliert untersucht werden konnten. Als Versuchskulturen wurde sich auf den Austernseitling, den Kräuterseitling und den Shii Take beschränkt, da diese vielversprechende Eigenschaften in Kombination mit einer hohen Marktrelevanz mitbringen.

2 AP 1 Screening von Pilzen und Substraten

Nach ersten Untersuchungen der Wachstumseigenschaften lässt sich eine Vorauswahl für Pilzkulturen treffen. Die bekanntesten und nachgefragtesten essbaren Speisepilze aus diesem Bereich sind der Austernseitling (*Pleurotus ostreatus*), der Kräuterseitling (*Pleurotus eringii*) und der Shiitake (*Lentinula edodes*). Auch hinsichtlich des Wuchsbildes fällt die Erstausswahl auf die genannten Sorten.

Gut sichtbar werden bereits die Eigenschaften bei der Betrachtung des Wuchsbildes der entsprechenden Pilzkultur. Als Brutmaterial (Aufwuchsträger) wurde, wie im kommerziellen Pilzanbau üblich, Hirse gewählt. Der Vorteil bei Hirse ist die einheitliche Schüttung und die Gleichverteilung der Korngrößen. Zudem sind die Hirsekörner hartschalig und klein, das vereinfacht die spätere Trennung der durchgewachsenen Körner. Die hohe Anzahl an Einzelkörnern pro Volumen Brutmaterial beschleunigt auch das Einwachsen, da mehr Inokulationspunkte im Endsubstrat geschaffen werden.



Abbildung 1: Wuchsbild der Körnerbrut des Kräuterseitlings vorne und hinten

Nach der Beimpfung der sterilisierten Körnerbrut mit Flüssigmyzel konnte das Myzelwachstum beobachtet werden. Hier sind die Wuchsbilder nach 10 Tagen Durchwachszeit dargestellt. Ein bereits dichtes und einheitliches Myzelwachstum ist bei dem Kräuterseitling zu erkennen. Nach 10 Tagen war die Körnerbrut fast vollständig durchgewachsen.

2 AP 1 Screening von Pilzen und Substraten



Abbildung 2: Wuchsbild der Körnerbrut des Austernseitlings vorne und hinten

Ein viel dichteres, vollständig geschlossenes Myzelwachstum ist beim Austernseitling festzustellen. Während der Durchwachsphase der Körnerbrut konnte ein extrem schnelles Wachstum beobachtet werden. Vollständig durchwachsene Hirsekörner konnten bereits nach 5 Tagen festgestellt werden. Aufgrund des sehr dichten Mycels, der Durchwachsungsgeschwindigkeit und der Stabilität des Körnerbrutsubstratblocks, ist der Austernseitling in der Vorauswahl der Favorit unter den Kulturen.



Abbildung 3: Wuchsbild der Körnerbrut des Shii Take vorne und hinten

Ein weiterer Kandidat in der Kulturauswahl, ist der Shii Take. Der Shii Take ist einer der nachgefragtesten Kulturpilze im kommerziellen Anbau gleichbedeutend mit den bereits genannten Seitlingsarten.

2 AP 1 Screening von Pilzen und Substraten

Der Shii Take weist ein langsames Wachstum auf als die anderen Pilze. Der Speisewert und der damit verbundene Marktwert ist vergleichsweise etwas höher. Der Shii Take weist im Gesamtwachstumsprozess eine Besonderheit auf. Nach der Phase des vollständigen Durchwachsens des Endsubstrates vor der Fruktifizierungsphase (Fruchtkörperbildung), bildet der Pilz eine solide braune bis schwarze Kruste aus. Dies führt zu einem sehr harten Substratblock, weshalb dieser Pilz interessant für die Herstellung von Dämmplatten und Verpackungsmaterial ist.

Im Wuchsbild der Körnerbrut zeigte sich ein sehr gleichmäßiges Wachstum und ein insgesamt langsames Wachstum als bei den Seitlingen. Trotz der Unregelmäßigkeit der Oberfläche des Shii Take-Substratblockes, weist die Kruste dieses Pilzes eine besondere wasserabweisende Eigenschaft auf. Diese Kruste könnte für bestimmte Anwendungen wie Verpackungen mit feuchten Inhalten oder Dämm- und Baumaterial mit Spritzwasserkontakt von Vorteil sein. Im Rahmen eines Folgeprojektes sollte diese Eigenschaft weiter untersucht werden und mögliche Anwendungen hierfür recherchiert werden.



Abbildung 4: Shii Take-Substratblock auf Basis von Maisernteresten mit ausgebildeter wasserabweisender Kruste

Versuche zur Direktbeimpfung von Substrat

Eine weitere Möglichkeit der Kultivierung der Speisepilze liegt in der direkten Beimpfung des zuvor sterilisierten Endsubstrates, hier Maiserntereste, mit Flüssigmyzel. Hier hat die Kultur keinen Startvorteil durch den Aufwuchsträger und es ist möglich zu erkennen, wie der Pilz sich dem Substrat anpasst. Im Fall eines Folgeprojektes sollte diese Kultur- und Beimpfungsmöglichkeit weiter untersucht werden. Ein

2 AP 1 Screening von Pilzen und Substraten

möglicher Wirtschaftsfaktor ist dies, da Prozessschritte und Materialeinsatz eingespart werden. Die schlussendliche wirtschaftliche Auswirkung in der Gesamtprozesskette gilt es dann zu untersuchen.



Abbildung 5: Direktbeimpfung auf Maisernteresten, Buchenschüppling (l.), Shii Take (m.) und Kräuterseitling (r.) zeigen vollständige Besiedlung des Substrates nach 10 Tagen



Abbildung 6: Direktbeimpfung auf Maisernteresten, Igelstachelbart (l.), weißer Kräuterseitling (m.) und Austernseitling (r.) zeigen vollständige Besiedlung des Substrates nach 10 Tagen

2 AP 1 Screening von Pilzen und Substraten



Abbildung 7: Direktbeimpfung auf Maisernteresten, Pioppino (l.), Abaloneseitling (m.) und Estragonsseitling (r.) zeigen keine vollständige Besiedlung des Substrates nach 10 Tagen

2.3 Orientierende Versuche der Pilzkultivierung

Im Vorfeld zu den Hauptversuchen wurden orientierende Vorversuche durchgeführt, um einen Eindruck für die Kultivierbarkeit und die Handhabung zu bekommen. Hierzu wurden Kulturen in 1 L-Eimern als Dreifachversuch angelegt. Zum Vergleich wurden zwei Kulturen, ein Austernseitling und ein Kräuterseitling, auf Stroh und auf Maisernteresten kultiviert.

Im Vorfeld wurden die Substrate Stroh und Maiserntereste mit Wasser auf einen Trockensubstanzgehalt (TS) von 50 % gebracht und bei 121°C für 20 Minuten (Haltephase) im Autoklaven sterilisiert. Nach Abkühlen der Substrate wurde mit Körnerbrut beimpft.

Nach vollständigem Durchwachsen des Substrates nach 10 Tagen, wurden die Substratblöcke aus den Gefäßen genommen und in eine Fruchtkammer gestellt. Die Fruchtkammer besteht aus einer an der unteren Wand umlaufend aufgebohrten Stapelbox. Die 2,5 cm großen Löcher wurden mit Mikrofilterband abgeklebt um das Eindringen von Kontaminanten von außen zu vermeiden. Zur Regulation der Feuchtigkeit wurde der Boden mit gewaschenem Blähton ausgekleidet. Eine saubere Frischluftzirkulation wurde über eine kleine Membranpumpe gewährleistet. Diese wurde über Schläuche mit dem Inneren der Fruchtkammer verbunden. Während der Fruchtkörperbildung wurde die Temperatur konstant bei 18°C gehalten. Die Luftfeuchtigkeit lag zwischen 85 und 95%.



Abbildung 8: erster Kultivierungsaufbau von 1 L-Substratblöcken aus Stroh und Maisernteresten vollständig durchwachsen, hier: Kräuterseitling

Es konnte bei den Versuchen festgestellt werden, dass die Substrate von beiden Kulturen angenommen wurden. Sowohl Stroh als auch die Maiserntereste wurden innerhalb einer Woche vollständig besiedelt. Die Erträge bzw. biologische Effizienzen lagen beim Austerseitling auf Stroh zw. 55 und 87 %, auf Maisernteresten zwischen 61 und 96 %. Der Kräuterseitling erzielte auf Stroh eine BE zwischen 36 und 73 %, auf Maisernteresten konnten zwischen 52 und 77 % BE erreicht werden.

In parallelen Versuchen ohne dreifache Ansätze wurden die Substrat-Kulturkombinationen ebenfalls getestet. Hier wurden große Substratvolumina gewählt, welche vergleichbar mit dem kommerziellen Maßstab sind. In großen Mikrofilterbeuteln wurden 5 Liter des jeweiligen Substrates eingefüllt und mit der gleichen Animpfmenge (2,5 % auf Substrat bezogen) an Körnerbrut versetzt. Vollständig durchwachsen waren alle Ansätze nach 7 bis 10 Tagen. Es konnten hier jedoch bis zu 118 % BE erreicht werden. Durch anbauseitige Optimierungen und die Annäherung an technisch-kommerzielle Maßstäbe können die entsprechenden Erträge weiter gesteigert werden.

2.4 Folgeuntersuchungen

Wie in den Voruntersuchungen, wurden in den Folgeuntersuchungen die gleichen Bedingungen gewählt:

1 L-Kulturgefäße; Sterilisation bei 121°C; 2,5 % Körnerbrut (Hirse), Durchwachstempertur 20°C, Fruktifikation bei 18°C und 85-95 % Luftfeuchte.

Die Kultivierung erfolgte aufgrund der einfachen Reproduzierbarkeit, des konstanten Volumens und der einfachen Handhabung in 1 L-Kulturgefäßen. Wenn aufgrund von Kontaminationen eine Wiederholung notwendig wurde, konnte diese mit geringem Aufwand wiederholt werden. Die Kultivierung in einem begrenzten Volumen hat jedoch auch Nachteile. So können die meisten Pilze ihr volles Potential, was Erträge angeht, nicht ausschöpfen. Hier ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass die Substrate bereits nach der ersten Fruchtung viel der ursprünglichen Energie und stofflichen Ausstattung verloren haben.

2 AP 1 Screening von Pilzen und Substraten

Neben Speisepilzkulturen sollte zusätzlich eine hochpreisige Heilpilz-Art untersucht werden, der glänzende Lackporling (Reishi, *Ganoderma lucidum*). Diese Art hat gleich dem Shii Take die Eigenschaft, eine feste, dunkle Kruste zu bilden. Diese Eigenschaft könnte für spätere Produkteigenschaften (Dämmplatten, Verpackungsformteile) von Vorteil sein und die Versuche sollen hier erste Erkenntnisse liefern.

Im Folgenden sind die Ergebnisse der BE für die Kulturen glänzender Lackporling, Igelstachelbart und Lungenseitling auf Stroh, Maisernteresten, Hanfschäben und Maisspindeln dargestellt.

Tabelle 2: ermittelte biologische Effizienzen (BE) der ausgewählten Kultur-Substratkombinationen [G=*Ganoderma lucidum* (glänzender Lackporling), I=Igelstachelbart, S=Seitling (weißer Lungenseitling) mit M=Maiserntereste, S=Stroh, H=Hanfschäben, MS=Maisspindeln]

Nr.	Kürzel	BE [%]
1	G-M I	9,94
2	G-M II	10,17
3	G-M III	13,16
4	G-S I	8,25
5	G-S II	9,00
6	G-S III	8,63
7	G-H I	10,18
8	G-H II	7,37
9	G-H III	9,37
10	G-MS I	0,00
11	G-MS II	0,00
12	G-MS III	0,00
13	I-M I	12,02
14	I-M II	17,80
15	I-M III	18,78
16	I-S I	10,60
17	I-S II	13,38
18	I-S III	12,81
19	I-H I	23,57
20	I-H II	24,42
21	I-H III	23,71
22	I-MS I	9,47
23	I-MS II	15,98
24	I-MS III	15,85
25	S-M I	24,21
26	S-M II	20,44
27	S-M III	19,35
28	S-S I	14,78
29	S-S II	16,58
30	S-S III	14,06

31	S-H I	16,95
32	S-H II	38,04
33	S-H III	19,10
34	S-MS I	14,02
35	S-MS II	14,81
36	S-MS III	18,78

Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass alle verwendeten Substrate / Reststoffe von den Kulturen angenommen wurden. Sie durchwuchsen nur mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. Generell ist die Verwendung der untersuchten Reststoffe mit unterschiedlichsten Kulturen also möglich. Aussagen zu Stabilität der Formkörper und zu Erträgen an Pilzen sind nur eingeschränkt möglich, da teilweise die Fruktifizierung ausblieb und daher keine Berechnungsgrundlage für den Ertrag vorliegt. Das kann zum einen daran liegen, dass die Substratmengen für die jeweilige Kultur nicht ausreichte. Als Richtwert für viele Speisepilze gilt häufig eine zusammenhängende Substratmasse von 2 kg. In den Untersuchungen wurden kleinere Mengen gewählt, da hier die Wiederholbarkeit im Fokus stand. Unter professionellen Anbaubedingungen sollten wesentlich höhere Erträge / BEs möglich sein. Die gemachten Untersuchungen dienten der Orientierung und der Einschätzung der Machbarkeit im Labormaßstab.

3 AP 2 Marktrecherche, Wirtschaftlichkeit

3.1 Prüfung patentrechtliche bzw. Konkurrenz-Situation

Derzeit gibt es zahlreiche Startups, welche sich mit der Herstellung biobasierter und biologisch abbaubarer Verpackungsmaterialien und alternativen Materialien auf Basis von Pilzen befassen. Die Anwendungen reichen dabei von Verpackungsformteilen, losem Füll- und Polstermaterial über Pilz-Leder und Fahrradhelmen. Sogar große Firmen wie IKEA haben angekündigt, ihre Verpackungen auf Pilzbasis bereit zu stellen. Das Thema ist also nicht ganz neu und das Interesse entsprechend groß.

Entsprechend wurden Patente angemeldet, welche diese Ideen aufgreifen. Im Jahr 2019 wurden zwei Unternehmensgründer für die Erfindung von Verpackung und weitere nachhaltige Materialien aus Pilzmyzelien mit dem Preis des Europäischen Patentamts (EPA) nominiert (https://www.epo.org/news-events/press/releases/archive/2019/20190507i_de.html). Hier besteht der wesentliche Unterschied zum MycoForm-Konzept in der Nutzung von meist nicht-Speisepilzen. In der Regel kommen dichtwachsende Porlingsarten ohne kulinarischen Mehrwert zum Einsatz. Die gleichzeitige Bereitstellung von Speisepilzen und weiteren Produkten ist hier nicht vorgesehen.

Ein Patent sieht die **energetische Nachnutzung** von Pilzsubstraten vor: CN110903879A Biomass fuel based on lentinus edodes waste base materials. Dieses Patent ist vom MycoForm-Prinzip insofern ausreichend entfernt, da es auf eine rein thermische Verwertung (Verbrennung) von Pilzsubstraten setzt und die energetische Nutzung durch Biogaserzeugung nicht einschließt.

Patente mit **Lebensmittelbezug / Fleischersatz** durch Pilze:

-AU2021242798A1 Mushroom-based food product

-WO2020250235A1 EXTRUDED READY TO CONSUME FOOD PRODUCT

-CN112088971A Vegetarian product manufacturing method, vegetarian product and adhesive

-CN113951465A Preparation method of non-heating minced fish/shrimp gelatinized product based on edible mushroom functional glycopeptide

-JP2015042151A MUSHROOM EXTRACT PROCESSED PRODUCT AND METHOD FOR PRODUCING THE SAME

-JPH0343063A PASTE PRODUCT CONTAINING DIETARY FIBER

Die oben aufgeführten Patente müssen bei der Realisierung der nächst höheren Konzeptentwicklung / Geschäftsmodells berücksichtigt werden bei dem es um die Weiterverarbeitung zu veganen oder flexitarisch-fleischreduzierten Produkten aus den geernteten Speisepilzen geht.

Patente mit Bezug auf myzelbasiertem **Verpackungsmaterial** für den deutschen Schutzraum, konnten im Untersuchungszeitraum nicht gefunden werden im Rahmen der betriebsinternen Recherche. Patente mit Bezug auf myzelbasiertem **Bau- und Dämmmaterial**, konnten ebenfalls nicht gefunden werden. Im Untersuchungszeitraum liegt der genannte Status vor. Es ist aber davon auszugehen, dass Patentverfahren bereits angestoßen wurden und noch nicht als Offenlegungsschrift veröffentlicht wurden. Aus bereits in Form von Messeausstellungsstücken, Berichten, Reportagen und im Internet veröffentlichten Videobeiträgen sind verschiedenartige Konzepte zur Herstellung von Verpackungsformteilen und biobasierten Baumaterialien bekannt. Diese unterscheiden sich jedoch im Wesentlichen vom MycoForm-Konzept, da keines dieser Konzepte auf eine gleichzeitige / vorgelagerte Speisepilzproduktion setzt und auf diese zusätzliche Wertschöpfung verzichtet. Soweit bekannt gemacht oder ersichtlich werden für diese Produkte Porlingsarten und Trameten verwendet welche keinen Speisewert besitzen und ausschließlich dem Zweck dienen ein Substrat zusammen zu halten. Es wird also jeweils immer nur eine Produktlinie gleichzeitig erzeugt, entsprechend ist die rohstoffbezogene Wertschöpfung weitaus geringer und durch die Bindung an jeweils einen Markt das Risiko weitaus größer, die möglichen Geschäftsmodelle weitaus enger.

3.2 Marktbeurteilung Verpackungsformteile und Dämmstoffe

Neben Speisepilzen können mit dem Mykoform-Ansatz entweder Verpackungsformteile oder Dämmstoffe erzeugt werden. Beide Marktsegmente werden im Folgenden betrachtet.

3.2.1 Verpackungsformteile

Der komplette Markt der Verpackungsmaterialien steht unter hohem Veränderungsdruck. Für die Verpackungslösungen nachfragenden Unternehmen spielt der ökologische Fußabdruck eine immer größere Rolle. Dabei müssen jedoch die Anforderungsprofile an die Verpackungen gewährleistet sein, bei Verpackungsformteilen v. a. hinsichtlich (i) des **Schutzes der zu verpackenden Produkte** (Absorption von

Kräften, zerstörungsfreie Rückstellfähigkeit), (ii) **Vermeidung negativer Einflüsse auf das verpackte Gut** (kein Staub durch Abrieb, kein Geruchsübergang etc., keine elektrostatischen Einflüsse bei Geräten), (iii) **möglicher Verwertbarkeit über übliche/vorhandene Entsorgungswege**, (iv) ggf. **möglicher Zusatzeffekte**.

Die anvisierte Produktlinie trifft also auf einen stark wachsenden Markt biobasierter, kreislauffähiger Verpackungsformteile, wobei das Wachstum sowohl auf regulatorische Änderungen als auch auf die nachfrage- und bei manchen Unternehmen verantwortungsseitigen Entwicklungen zulasten der derzeitigen fossil basierten billigen Massenprodukte geht. Weil die billigen (durch Kostenexternalisierung) fossil basierten Konkurrenzprodukte mittelfristig Auslaufmodelle sind, konzentriert sich die Evaluierung der Konkurrenzfähigkeit auf die biobasierten Alternativen.

Biobasierte Verpackungsformteile sind meist entweder Pulp/Paper basiert, oder sind aus Stärke- bzw. Getreide- (inkl. Mais) basierten Mischungen extrudiert. Selten sind in diesem Segment Biokunststoffe im Einsatz.

Materialeitig sind Pulp/Paper basierte Verpackungsformteile oft vergleichbar mit Eierkartons, wobei die Festigkeit auf die Anforderungen eingestellt wird und die Sorption von Stößen meist durch die Formgebung bei dünnen Wandstärken ermöglicht wird. Die Rohstoffaufbereitung für diese Produkte erfolgt nahezu ausschließlich in sehr großen, zentralisierten Werken (Pulp&Paper Industry), die aus logistischen Gründen auf Holz als Rohstoff zurückgreifen und dabei jeweils auf eine oder wenige Baumarten spezialisiert sind (weil die Prozesse jeweils angepasst werden müssen). Wegen des starken Wachstums des gesamten Pulp&Paper Bereiches (global jährlich meist > 2 %, v. a. für Verpackungs- und Tissueprodukte trotz Rückgang des Print-Bereiches) kommt der Pulp&Paper Sektor zunehmend in Nachhaltigkeitsrisiken und Stoffstromkonkurrenzen, weil die früher meist verwendeten Durchforstungshölzer und Sägewerksreststoffe begrenzt sind und außerdem zunehmend in der Holzwerkstoff- und Pelletindustrie gefragt sind. Bei alternativer Nutzung in Holzwerkstoffprodukten stellen sie langjährige C-Speicher dar. Bei mangelnder Verfügbarkeit o. g. minderwertigerer Qualitäten greifen die Industrien zunehmend auf hochwertige Stammholzqualitäten zurück, was das Raubbau-Risiko erhöht.

Wegen der economies of scale im Bereich Pulp&Paper und der schlechteren logistischen Eigenschaften wurde die technisch eigentlich bessere Rohstoffbasis Stroh (geringerer Ligningehalt, keine Harze etc.) schon seit vielen Jahrzehnten abgelöst und spielt heute quasi keine Rolle mehr. Alternative Pulp&Paper ähnliche faserbasierte Formteile¹ sind eher hochpreisig und haben derzeit insgesamt minimale Marktbedeutung mit rohstoff- bzw. projektseitig begrenztem Wachstumspotential.

Die auf Getreide/Mais/Stärke oder Biokunststoffen basierenden Extrusionsprodukte haben im Vergleich zum Mykoform-Ansatz eine weitaus engere Rohstoffbasis, die noch dazu in Nutzungskonkurrenz zum

¹ <https://gruppe.schwarz/verantwortung/aktuelles/2021/prezero-veraendert-papier>
<https://benas-gruppe.com/willkommen-bei-der-benas-gruppe/nachhaltige-papier-und-fasergussproduktion/>

Lebensmittelsektor steht, daher den Druck auf die Anbauflächen erhöhen (incl. LUC und iLUC -Effekten) und den Preisschwankungen auf den Commodity-Märkten unterliegen.

Bezüglich der Anforderungen an Verpackungsformteile kann, auch auf Basis der ersten experimentell erzeugten Teile, erwartet werden, dass der (i) **Schutz der zu verpackenden Produkte** durch Absorption von Kräften heute schon mindestens ebenso gut möglich ist, wie bei den Pulp&Paper bzw. Getreide/Stärke-basierten Lösungen. Allerdings sind die zerstörungsfreie Rückstellfähigkeit und das Gewicht gegenüber den vorgenannten Lösungen mit mehreren Jahrzehnten Entwicklungsvorsprung für viele Einsatzbereiche noch herausfordernd. Bzgl. der **Vermeidung negativer Einflüsse auf das verpackte Gut** dürften die MycoForm-Teile ebenso wie die Pulp&Paper und Getreide/Stärke-Lösungen im Gegensatz zu den fossil basierten Billiglösungen keine elektrostatischen Effekte auf das verpackte Material (v. a. Elektrogeräte, Elektronikmaterial) haben. Der Abrieb stellt für viele Anwendungen noch eine erhebliche Herausforderung dar, Geruchsaspekte können auf Basis der bisherigen experimentellen Arbeiten noch nicht eingeschätzt werden. Zur möglichen **Verwertbarkeit über übliche / vorhandene Entsorgungswege** sind als schlechtere Verwertung die Verbrennung in Heizkraftwerken (bei versehentlicher Entsorgung mit anderem Verpackungsmaterial), v. a. aber Bioabfallverwertungsketten etabliert. Damit das Material in allen Biogutketten verwertet werden kann, neben der Kompostierung also auch in Biogasanlagen, sind in einem Folgeprojekt entsprechende Vergärungsuntersuchungen geplant. Dabei wird auch untersucht, ob und auf welche Weise (Pilzlinien, Trocknungsverfahren), die beim Pilzwachstum entstehenden Enzyme bei der Nach-Nutzung von Produktionsresten oder der bereits genutzten Formteile Verbesserungen des Biogasprozesses ermöglichen und so die Wertschöpfungskaskade verlängern können. Bzgl. **möglicher Zusatzeffekte** hat die für die myzelbasierten Verpackungsformteile sicher zu erwartende Eigenschaft der Feuchtigkeitsaufnahme / Feuchtigkeitsregulation zu niedriger Luftfeuchtigkeit für viele Anwendungen erhebliche Vorteile). Eine ausreichende Robustheit bzgl. ggf. **möglicher Mehrfachverwendbarkeit** (je nach Logistikketten) sollte auf Basis bisheriger Abschätzbarkeit erreichbar sein.

3.2.2 Dämmstoffe

Dämmstoffe müssen deutlich langlebiger sein als Verpackungsformteile und sind mit langlebigen Gebäuden verbunden. Sie stehen im Zusammenhang mit Einflüssen auf die Gesundheit und Sicherheit und unterliegen daher einer Zulassungspflicht.

Es bestehen Anforderungen v. a. in den Bereichen Langlebigkeit, Wärmeleitfähigkeit, Wärmekapazität, Vermeidung des Austritts von gesundheitsschädlichen Stoffen bei Verarbeitung, Gebäudebetrieb und Entsorgung, mikrobielle Resistenz, Vermeidung der Besiedlung und Zerstörung durch Schadinsekten, Brandschutz u. a. Je nach Anwendung kommen Eigenschaften im Bereich der Schallübertragung hinzu. Zunehmend wichtiger werden ökologische Eigenschaften wie Energieverbrauch und Emissionen bei der

Herstellung und beim Gebäudebetrieb sowie die anschließende Verwertung bzw. Entsorgung. Zunehmend wird im Gebäudebereich die Lebenszyklusbetrachtung bedeutsam².

Derzeit dominieren im Dämmstoffbereich Mineralfaserprodukte (v. a. Steinwolle), extrudierte Kunststoffe, in weitaus geringerem Bereich werden unterschiedliche biobasierte Dämmstoffe³ eingesetzt. Andere Dämmstoffe haben begrenzte Nischenbedeutung (z. B. Perlite, Glasschaumprodukte).

Die Mineralfaserprodukte erfordern einen hohen Energieaufwand und entsprechend hohe Emissionen bei der Herstellung, nach getrenntem Ausbau ist eine stoffliche Verwertung im Wesentlichen durch energieaufwendiges Wiedereinschmelzen möglich. Vorteilhaft sind die fehlende Brennbarkeit und die fehlende biologische Angreifbarkeit (Pilze, Insekten, Fäulnis, Schimmel). Letztgenannte Vorteile relativieren sich jedoch im Durchfeuchtungsfall, weil die hohe Wasseraufnahme- und Speicherfähigkeit zu einer lange anhaltenden Durchfeuchtung angrenzender Bauteile führen kann, bei Durchfeuchtung ist also ein umgehender Ausbau nötig, der Einsatz im Perimeterbereich (Gebäudebereich mit Risiko durch Spritzwasser oder aufsteigende Feuchtigkeit) nicht fachgerecht. Luftgetragene Faserbruchstücke werden als gesundheitsschädlich eingestuft, beim Einbau ist ein Schutz durch Atemschutzmasken recht einfach, beim Ausbau, beim Abbruch von Gebäudeteilen und beim Recycling sehr herausfordernd. Die Lebenszyklusbilanz ist v. a. wegen des hohen Energieaufwandes beeinträchtigt.

Extrudierte Kunststoffe sind zwar wasserabweisend und auch im Perimeterbereich einsetzbar, allerdings sind sie auf fossilen Kohlenwasserstoffen basierend, verursachen ebenfalls hohe Emissionen bei der Herstellung und sind im Wesentlichen nur thermisch verwertbar. Durch diverse Zusätze (v. a. zur Verbesserung der Brandschutzeigenschaften) kann die thermische Verwertbarkeit in üblichen Müllheizkraftwerken beeinträchtigt werden, so dass Abbruchmaterial und Reststoffe in Sondermüllanlagen behandelt werden müssen. Bei nicht sauberer Abtrennung beeinträchtigen sie die Verwertbarkeit mineralischen Abbruchmaterials erheblich. Besonders problematisch ist neben der schlechten Lebenszyklusbilanz die Brennbarkeit, die je nach eingesetzten Additiven und Art des Einbaus (v. a. hinterlüfteter Einbau), vor allem bei nicht fachgerechtem Einbau von Brandschutzriegeln zu äußerst schneller Brandausbreitung, hoher Schadstoffbelastung und hoher Gefahr für Bewohner und Rettungskräfte führen kann⁴.

Unter den biobasierten Dämmstoffen gibt es neben unterschiedlichen Einblas- und Schüttdämmstoffen, die hier nicht weiter betrachtet werden, auch Plattenlösungen, v. a. Holzweichfaserplatten. Entscheidende Vorteile des Mykoformansatzes sind v. a. (i) der Verzicht auf kunststoffbasierte Bindemittel, was für Produktions- und Verarbeitungsreste sowie nach Abbruch die Verwertung via Kompostierungs- und/oder Vergärungsanlagen mit Kreislaufführung der enthaltenen Nährstoffe ermöglicht, (ii) die weitaus breitere

² <https://www.gebaeudeforum.de/wissen/nachhaltiges-bauen-und-sanieren/lebenszyklusbetrachtung/>

³ <https://mediathek.fnr.de/broschuren/nachwachsende-rohstoffe/bauen/marktubersicht-dammstoffe-aus-nachwachsenden-rohstoffen.html>

⁴

<https://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/waermedaemmung-an-haeusern-erhoehte-brandgefahr-durch-styropor-a-1001121.html>

<https://www.ndr.de/nachrichten/hamburg/Waermedaemmung-Ignoranz-der-Brandgefahr,waermedaemmung205.html>

<https://www.baustoffwissen.de/baustoffe/baustoffknowhow/daemmstoffe/wdvs-polystyrol-hartschaum-platten-brandverhalten/>

mögliche Rohstoffbasis (allerdings müssen wegen der notwendigen Baustoffzertifizierungen für eine Produktionslinie jeweils gleiche Bedingungen sichergestellt werden), (iii) der geringere Energieaufwand zur Herstellung, weil die eigentliche Bindung myzelbasiert durch das Pilzwachstum erfolgt und nicht durch Druck-Temperatur-Bindemittel-Kombinationen erreicht werden muss, (iv) die bessere Rohstoffeffizienz (s. 2.4.) sowie (v) die Mehrlinienproduktion für verschiedene Märkte, die die Abhängigkeit von einem Markt mit ausgeprägten konjunkturellen Schwankungen wie dem Bausektor verringert.

3.3 AP 3 Marktbeurteilung, Fleischersatz- und Flexitarierprodukte

Der Markt für Fleischersatzprodukte ist ein Wachstumsmarkt mit sehr günstigen Zukunftsperspektiven, hohen Preisen und v. a. im Vergleich zu Fleisch (Vergleich Futterbasis zur Erzeugung tierischer Produkte mit dem Rohstoffbedarf von Ersatzprodukten) äußerst hoher rohstoffbezogener Wertschöpfung⁵.

3.3.1 Beurteilung des Nährwertes von Pilzen und Einordnung des Stellenwertes in der menschlichen Ernährung

Speisepilze, also jene Pilze welche für die menschliche Ernährung geeignet sind, da sie keine Toxine produzieren, enthalten vergleichsweise wenig Fett und Kohlenhydrate. Darüber hinaus tragen das Chitin des Zellgerüsts und der hohe Wassergehalt von Speisepilzen dazu bei, dass der physiologische Brennwert von ca. 63 kJ / 100 g sehr gering ist. So liegt zum Vergleich der Brennwert von Kartoffeln bei rund 300 kJ / 100 g, der von rohem Fleisch zwischen 835 und 1130 kJ / 100 g.

In der menschlichen Ernährung stellen Speisepilze eine gute Quelle für Eiweiß, Vitamine und Mineralstoffe (Magnesium, Jod, Mangan, Kalium, Selen, Zink) dar. Darüber hinaus sind die Fruchtkörper von Speisepilzen

⁵ <https://www.topagrar.com/markt/news/produktion-von-fleischersatzprodukten-um-6-5-gestiegen-13377769.html>
<https://www.wwf.de/themen-projekte/landwirtschaft/ernaehrung-konsum/fleisch>
<https://www.planet-wissen.de/gesellschaft/essen/vegetarier/index.html>
https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2019/02/PD19_043_413.html
<https://www.geo.de/natur/oekologie/3331-rtkl-massentierhaltung-herzinfarkt-auf-dem-bauernhof>
<https://www.mdpi.com/2072-6643/9/8/837>
<https://www.nzz.ch/panorama/was-sind-die-aktuellen-food-trends-hanni-ruetzler-im-interview-ld.1591621>
<https://www.wiwo.de/unternehmen/handel/von-unschuldslaemmern-raubtieren-und-romantikern-warum-fleisch-und-wursthersteller-um-ihre-kunden-kaempfen-muessen/26709218.html>
<https://www.wiwo.de/erfolg/gruender/food-tech-tierfreies-fleisch-aus-dem-3d-drucker-kommt-nach-deutschland/26835632.html>

https://www.topagrar.com/markt/news/mastschweine-nach-dem-stau-besser-12460023.html?test=direktbuchung&utm_source=Maileon&utm_medium=email&utm_campaign=2021-01-25+top+agrar+NEWS+%28Montag%29&utm_content=https%3A%2F%2Fwww.topagrar.com%2Fmarkt%2Fnews%2Fmastschweine-nach-dem-stau-besser-12460023.html
<https://www.topagrar.com/schwein/news/chinas-schweinemarkt-erholt-sich-zuegig-12463259.html?test=direktbuchung>
https://www.topagrar.com/schwein/news/fleischatlas-fehlt-wissenschaftlicher-anspruch-12462796.html?utm_campaign=index&utm_source=topagrar&utm_medium=referral
<https://www.boell.de/de/de/fleischatlas-2021-jugend-klima-ernaehrung>
<https://plus.tagesspiegel.de/es-gibt-nicht-nur-beyond-meat-wie-anleger-vom-vegan-trend-profitieren-95006.html>
<https://www.topagrar.com/perspektiven/alternative-proteine/landwirt-tueftelt-an-proteinreicher-fleischalternative-aus-gepresstem-weidegras-13271598.html?upgrade=true>

reich an Vitamin A sowie den Vitaminen der B-Gruppe. Sollten die Pilze an einem sonnenexponierten Standort wachsen, sind sie zudem reich an Vitamin C. Die enthaltenen Aminosäuren als Bausteine der Eiweiße sind zudem teilweise in der menschlichen Ernährung essentiell.

3.3.2 Perspektive von fleischreduzierten und Fleischersatzprodukten aus Speisepilzen

Immer mehr Menschen in der westlichen Welt ernähren sich bewusst fleischarm bis fleischlos. Dies hat neben diätischen vor allem ethische Gründe. In diesem Zuge ist die Ernährungsindustrie seit wenigen Jahren auf der Suche nach Lebensmitteln und Rezepturen, welche eine geeignete Alternative zu Fleischprodukten darstellen können⁶. Neben den ernährungsphysiologischen Aspekten wie Vitamin- und Mineralstoffgehalten, spielt bei der Vermarktung von Alternativprodukten auch die Erwartung der Verbraucher eine entscheidende Rolle. So sind in Supermärkten und Fast-Food-Ketten bereits zahlreiche Fleischersatzprodukte zu finden, diese versuchen jedoch allzu häufig, Form, Textur und Geschmack von tierischen Erzeugnissen nachzuahmen.

Einen neuen Ansatz stellt die fermentative Herstellung von Pilzmyzel dar, wie sie beispielsweise von Firmen wie „kynda“ oder „Mushlabs“ in Deutschland entwickelt werden. Diese Verfahren sind eine Alternative gegenüber den weit gebräuchlichen Fleischersatzstoffen aus Soja, Weizen oder Erbsen. Sie benötigen jedoch ebenfalls wie diese eine hochwertige Rohstoffbasis aus Ackerbauprodukten und können die Fähigkeit von Speisepilzen, Reststoffe aus Lignocellulose zu verwerten, kaum nutzen. Diese Verfahren lassen sich halbwegs dezentral und regional, in Nähe zum Verbraucher, betreiben, benötigen jedoch weitaus mehr Infrastruktur und haben daher deutlich höhere economies of scale als die im MycoForm-Vorhaben konzipierten Verfahren. Ungleich deutlicher ist der Vorteil der Nutzung von Pilzen in der menschlichen Ernährung gegenüber den Flächenbedarfen und CO₂-Emissionen, welche aus der Tier- und Tierfutterproduktion stammen. Weitere Vorteile gegenüber proteinreichen Lebensmitteln tierischer Herkunft sind das schnelle, exponentielle Wachstum der Pilzmyzele (laut „Mushlabs“ 25-mal schneller als Soja) und auch der geringe Wasserbedarf.

Eine kombinierte Nutzung von Fruchtkörpern, Myzel und ggf. tierischem, fettreichem Fleisch, das in Deutschland kaum noch gegessen wird, ermöglicht somit eine weite Bandbreite an Produkten, welche die unterschiedlichsten Verbraucherbedürfnisse befriedigen können. Darüber hinaus lassen sich ernährungsphysiologisch hochwertige Lebensmittel einem breiten Verbraucherkreis zugänglich machen.

Das Aminosäurespektrum vieler Speisepilze und Myzele verleiht ihnen einen Umami-Geschmack (neben süß, sauer, salzig und bitter eine grundlegende Geschmackswahrnehmung des Menschen), welche als herzhaft, fleischig und besonders langanhaltend wahrgenommen wird. Auch die Textur, vor allem jene der Pilzmyzele, wird als faserig und saftig wahrgenommen. Dies prädestiniert Pilze auch aus geschmacklicher Sicht für den Einsatz als Fleischersatzstoff.

6

3.4 Rohstoffverfügbarkeit, -märkte und Konkurrenzfähigkeit

Sowohl die oben genannten Produktlinien, d. h. Verpackungsmaterialien, Dämmstoffe und Speisepilze, als auch biobasierte weitere Produktlinien inklusive der in einigen Bereichen (Luft- und Schifffahrt, Residuallast, industrielle Mittel- und Hochtemperaturprozesse, Residuallasten im Wärmesektor) kaum ersetzbaren biomassebasierten Lösungen (im Laufe der folgenden Jahrzehnte zunehmend ergänzt durch H₂) erfordern erhebliche Rohstoffmengen. Bei zunehmender Bedeutung des C-Footprint werden dabei Reststoffe als Rohstoffbasis im Vergleich zu Anbaubiomasse immer bedeutender, es ist also insgesamt von einer stark steigenden rohstoffseitigen Konkurrenz auszugehen.

Bei zunehmender Verknappung bzw. Nachfrage nach derzeit als Reststoffe bewerteten Biomassen gewinnen also Verfahren, Produkte und Geschäftsmodelle an Vorteilhaftigkeit, die (i) eine **hohe rohstoffspezifische Wertschöpfung** ermöglichen, (ii) eine **hohe Rohstoffflexibilität** aufweisen, (iii) eine **gute rohstoffseitige Erschließbarkeit** ermöglichen, indem neben größeren Chargen auch dezentral anfallende kleinere Chargen, z. B. kleinerer Idw. Betriebe) ohne überhöhten administrativen und logistischen Aufwand erschlossen werden können. Entscheidend ist dabei v. a. die wirtschaftliche Mindestgröße im Verhältnis zu solchen Rohstoffquellen. Besondere Vorteile hat es dabei, (iv) wenn diese Verfahren, Produkte und Geschäftsmodelle eine hohe **Stakeholderaffinität** haben, idealerweise direkt von den Unternehmen und/oder Personen mit Zugriff auf die Stoffströme in deren wirtschaftliche Tätigkeiten integriert werden können.

Die Ergebnisse der Vorversuche sowie die Bewertung der bisherigen Konzepte lassen eine gute Rohstoffverfügbarkeit und rohstoffseitige Konkurrenzfähigkeit für das vorgesehene Verfahren und die zugehörigen Produkte und Geschäftsmodelle erwarten.

Die gleichzeitige Erzeugung von Weißfäule - Speisepilzen und Formteilen bzw. Dämmplatten ermöglicht sowohl gegenüber den üblichen Einlinienproduktionen von Speisepilzen oder von stofflich nutzbaren Myzelprodukten auf Basis von Holzpilzen als auch gegenüber vielen großskaligen Massenprodukten **sehr hohe rohstoffspezifische Wertschöpfungen**. Es ist grundsätzlich ein breites Spektrum an Rohstoffen geeignet. Dies umfasst Stroh aller Getreidearten, von Körnermais, Raps, Körnerleguminosen, Sonnenblumen, Maisspindel- und Lieschen, diverse Spelzen, Hackschnitzel, auch von Agroforstflächen, Aufwüchse von Paludiflächen, Miscanthus und auch feste Gärprodukte oder künftig Pressrückstände aus der Proteingewinnung aus Gräsern⁷. Diese grundsätzlich **sehr hohe Rohstoffflexibilität** erleichtert die sichere Rohstoffverfügbarkeit. Die in Abhängigkeit von den Vermarktungsstrukturen und Geschäftsmodellen produktionsseitig absehbar wirtschaftlich möglichen relativ niedrigen Untergrenzen der Produktionseinheiten von deutlich weniger als 10 t Substrateinsatz pro Jahr erleichtern die Erschließung auch dezentral, ggf. innerbetrieblich verfügbarer Rohstoffströme, für die eine zentralisierende Erfassungslogistik nicht wirtschaftlich wäre. Diese **gute rohstoffseitige Erschließbarkeit** wird verstärkt durch die gerade zur Erschließung dezentraler Stoffströme wichtige mögliche **hohe Stakeholderaffinität**. Die konzipierte niedrige Untergrenze für Produktionseinheiten, die mögliche Konzentration auf Speisepilze

⁷ <https://grassa.nl/en/> <https://www.topagrar.com/perspektiven/alternative-proteine/landwirt-tueftelt-an-proteinreicher-fleischalternative-aus-gepresstem-weidegras-13271598.html?upgrade=true>

und Verpackungsformteile zur Direktvermarktung der Pilze und weiterer landwirtschaftlicher und gartenbaulicher Produkte verspricht Wertschöpfungsmöglichkeiten für kleinere Unternehmen in den Nischenmärkten der Direktvermarktung (an Endverbraucher, Gastronomie etc.). Größere Unternehmen können ihre Produkte zunächst an andere Unternehmen in einfachen Wertschöpfungsketten (Verkauf von Speisepilzen und Verpackungsformteilen an Einzelhandel) vermarkten. Bei einer erfolgreichen Realisierung eines effizienten Produktionsverfahrens in der geplanten Machbarkeitsphase können in späteren Projekten auf Basis der dann verfügbaren Rohstoffbasis an Speisepilzen und ersten Abschätzungen zu den Erzeugungskosten auch komplexere Wertschöpfungsketten wie vegane und kombinierte vegetarische bzw. flexitarische Produkte erarbeitet werden. Auch Verpackungsformteile für größere Linien sowie Dämmstoffprodukte erfordern wegen der in diesen Marktsegmenten vorausgesetzten oder gesetzlichen Anforderungen ein Management zur Sicherstellung der Liefersicherheit und zur genauen Einhaltung vordefinierter Qualitäten, dass diese Produktionslinienkombinationen eher größeren Unternehmen vorbehalten sein werden.

3.5 Geschäftsmodelloptionen und Konkurrenzfähigkeit der Produkte und des Verfahrens

Wie schon unter „2.4 Rohstoffverfügbarkeit, -märkte und Konkurrenzfähigkeit“ angerissen, eröffnet das bisher als Grobkonzept entwickelte Verfahren sehr unterschiedliche Geschäftsmodelloptionen. Im Folgenden werden die bisher erarbeiteten Optionen sowie die jeweilige Bewertung der Konkurrenz- bzw. Marktfähigkeit dargestellt.

Die Vielfalt möglicher Geschäftsmodelle wird durch die mögliche Kleinskaligkeit des bisher konzipierten Mykoform-Verfahrens unterstützt. In der einfachsten Form soll eine wirtschaftliche Realisierbarkeit für Substratmengen deutlich unter 10 t/a ermöglicht werden. Dies ermöglicht als einfachstes Geschäftsmodell den Einstieg für kleine Betriebe, sowohl Start-ups, als auch Landwirtschafts-, Gartenbau- oder Forstbetriebe, die z. B. in den bisherigen Betriebszweigen ohne Wachstumschancen kein ausreichendes Einkommen mehr erwirtschaften können. Dann sollen bei moderaten Investitionen durch Nutzung von Altgebäuden und Verzicht auf automatisierte Klimatisierung und weitere automatisierte Steuerung Speisepilze und zugehörige Verpackungsschalen erzeugt werden. Im Vergleich zu üblichen manuellen Produktionsverfahren für Edelpilze ist die Arbeitseffizienz des Verfahrenskonzeptes weitaus höher. Damit wird Zeit gewonnen zur Vermarktung der Speisepilze in hochpreisigen Bereichen an Endverbraucher, Gastronomie etc. Im Ernährungssektor ist ein Trend zu Fleischalternativen zu erkennen. Das führt auch zu einer steigenden Nachfrage nach Speisepilzen. Wachsende Märkte sind also in diesem Bereich zu erwarten und damit begünstigte Absatzchancen.⁸

Die Bedienung von Märkten im Business to Business (b2b) – Bereich erfordert kostengünstige Produktion, sehr einheitliche Qualitäten, bedarfsgerechte Liefermengen unter Berücksichtigung saisonaler Bedarfe und generell hohe Liefersicherheiten. Saisonale Bedarfe können sich z. B. bei Speisepilzen auf Feiertage beziehen, bei Verpackungsformteilen im Lebensmittelbereich ebenfalls auf ggf. kurzfristige saisonale

⁸ <https://www.topagrar.com/perspektiven/nischen/edelpilze-als-einkommensalternative-12076433.html>

4 AP 4 Verwertungsmöglichkeiten, Biogassubstrat, Biomethanpotential

Schwankungen, z. B. wegen Grillwetter. Größere Mengen an Speisepilzen werden sich nur über den Einzelhandel oder über Weiterverarbeitung / Weiterverarbeiter absetzen lassen. Wegen der für die Geschäftspartner nötigen Margen erhöht sich dabei der Druck auf die Produktionskosten erheblich.

Es ergeben sich Geschäftsmodelle, die eine weitaus größer dimensionierte Produktion erfordern, eine hohe Sicherheit durch unabhängige Produktionslinien, hohe Ausfallsicherheit durch geeignete Steuer-Regelungs- und Kontrolltechnik, eine hohe Effizienz durch Automatisierung und optimierte Abläufe, geeignete Maßnahmen zur Qualitätssicherung u. a. durch Vereinheitlichung und regelmäßige Kontrolle aller Produktionsmittel. Die Produktion müsste durch Bevorratung (Kühlager für Pilze, Bevorratung trockener Verpackungsformteile) ergänzt werden.

Diese Geschäftsmodelle müssen durch Partnerunternehmen ergänzt werden, z. B. Einzelhandelsunternehmen, die die Speisepilze vermarkten, Fleischereien oder Systemgastronomen, die mit oder aus den Speisepilzen vegane, vegetarische und/oder flexitarische Produkte herstellen. Wenn in der Machbarkeitsphase die industrielle Erzeugung im Pilotmaßstab entwickelt ist, sollen in einem Folgeprojekt entsprechende Lebensmittelprodukte entwickelt werden. Bei diesen Geschäftsmodellen können entweder ebenfalls Verpackungsformteile für die Vermarktung der Pilze und Pilzprodukte erzeugt und über die gleichen Absatzkanäle vertrieben werden oder es können es können unabhängig davon Verpackungsformteile oder Dämmplatten für andere Anwendungen hergestellt werden.

Insbesondere für den Dämmstoffbereich und / oder für großskalige Abnehmer im Verpackungsbereich muss die Produktion entsprechend großskalig aufgebaut werden.

Zur Erschließung großskaliger Absatzmärkte, zur Erhöhung der Liefersicherheit und Vermeidung von Konventionalstrafen oder des Auslistungsrisikos bietet sich der Aufbau von Erzeugungsnetzwerken mit gemeinsamer Vermarktungsplattform der Produkte an. Nach dem Vorbild von Franchisesystemen kann diese bündelnde Plattform mehr oder weniger ausgeprägt vertikal und horizontal integrierend wirken, z. B. horizontal jeweils eigene Direktvermarktung der Erzeugerbetriebe aber ausschließlich gebündelte b2b-Vermarktung zulassen, um gegenseitige Konkurrenz innerhalb des Verbundes zu minimieren. Sie kann darüber hinaus die Mengensteuerung entsprechend des Bedarfes organisieren, um gleichzeitig Liefer- und Absatzsicherheit trotz Marktschwankungen zu erhöhen. Vertikal kann sie sowohl Produkt- als auch Produktionsstandards setzen, die Weiterentwicklung über eigene F&E und Beratung fördern, einheitliche Produktionsanlagen und zugehörige Betriebsmittel bereitstellen/organisieren sowie Standards/Mischungen/Austausch/Bezug der Inputsubstrate.

4 AP 4 Verwertungsmöglichkeiten, Biogassubstrat, Biomethanpotential

Die Verwertung der Produkte (Formteile oder Dämmstoffe) oder die aufgebrauchten Pilzsubstrate nach der Speisepilzproduktion können am Ende ihrer Nutzungsdauer energetisch genutzt werden. Eine einfache und technisch gut etablierte Möglichkeit ist die Erzeugung eines Energieträgers in Form von Biomethan. Diese end-of-lifecycle-Nutzung schließt den Kreislauf so vollständig und kosteneffizient wie nur denkbar. Von der Reststoffnutzung entlang einer Wertschöpfungskaskade von der Lebensmittelerzeugung (und

perspektivisch Veredelung) über die stoffliche Nutzung bis zur energetischen Nutzung und der Ausbringung in den natürlichen Kreislauf

Vergleichbare Ansätze wurden im Europa-Projekt „Smartmushroom“ bereits untersucht. Hier lag der Fokus auf der Erzeugung eines pelletierten Düngers, welche als Hauptkomponente aufgebrauchte Pilzsubstrate nutzte. Der Zwischenschritt in der Düngemittelerzeugung geht hierbei über den Biogasprozess⁹.

4.1 Untersuchung des Biomethanpotentials der Materialien

Es wurden orientierende Untersuchungen des Biomethanpotentials durchgeführt. Aufgrund der Kürze der Zeit im Projektzeitraum wurde das Biomethanpotential als batch-Test durchgeführt. Das verwendete System ist AMPTS II (Automatic Methane Potential Test System). Der Untersuchungsstandard ist nach VDI 4630 geregelt.

Für den Vergleich wurden lignozellulose Reststoffe mit dem derzeit mengenmäßig bedeutsamsten Potential gewählt -Stroh und Erntereste der Körnermaisernte. Zudem zeigten diese sich bereits in Voruntersuchungen als generell geeignete Pilzsubstrate. Für die Kultur wurde der Austerseitling gewählt, da dieser unter den aufgeführten Pilzen vermutlich die höchste Enzymausstattung besitzt.

Bei diesem Verfahren wird die reine Methanentstehung erfasst. Als Reverenz wird das Inokulum und mikrokristalline Zellulose (MCC) verwendet.

Tabelle 3: AMPTS II Ergebnisse der untrsuchten Substrate (Stoh, Mais vor und nach Pilzbwuchs und Ernte)

Probe	Abbruch-	relative	laufender	Mittelwert		TS _{Probe}	oTS _{Probe}	Masse
	basierter			Mittelwert	Methanbildung			
	Spezif. Methanb.	Standard-	Spezif. Methanb.	Brutto	Netto			
Probenbezeichnung	[ml _N /g _{oTS}]	abweichung	[ml _N /g _{oTS}]	[ml _N]	[ml _N]	[%]	[% _{TS}]	[g]
Inokulum	31 ± 1	3	31	294	294	3,3	72,3	9,5
MCC	370 ± 0	0	373	1471	1176	96,5	100,0	3,2

⁹<https://cordis.europa.eu/article/id/430160-a-mushrooming-opportunity-spent-mushroom-substrates-make-quality-fertiliser/de>

4 AP 4 Verwertungsmöglichkeiten, Biogassubstrat, Biomethanpotential

Mais unbehandelt	301	± 20	7	303	1359	1011	92,3	98,3	3,3
Mais nach Pilzbewuchs	250	± 19	8	253	1186	838	58,6	98,0	3,4
Stroh unbehandelt	299	± 10	3	304	1298	953	92,9	93,4	3,1
Stroh nach Pilzbewuchs	259	± 5	2	260	1150	802	66,9	91,7	3,1

Wie zu erwarten verringerte sich in Folge von Zersetzungsprozessen durch die Pilze der organische Trockensubstanzanteil in den untersuchten Proben. Die fortschreitende Mineralisierung der organischen Substrate und damit verbundener CO₂-Bildung erhöhten den Anteil an mineralischen Rückständen (Aschegehalt). Aus den gemachten Analysen (Futtermittelanalyse nach *Weender / Van Soest*) geht hervor, dass der Gehalt an Gerüstsubstanzen (Cellulose, Hemicellulose und Lignin) insgesamt durch den pilzlichen Einfluss um 7 bis 8 % reduziert wurde. So hatte Mais im Originalzustand 80,5 %_{TS}, nach der biochemischen Veränderung durch den Pilz (hier Austerseitling) 73,0 %_{TS}. Stroh besaß einen Gerüstsubstananzgehalt von 73,9 %_{TS}, nach dem Pilzbewuchs 65,7 %_{TS}.

Die spezifische Methanbildung (oTS-bezogen) verhielt sich in den gemachten Batch-Tests entgegen der Erwartung und der gängigen Erkenntnissen aus wissenschaftlichen Publikationen. Der Bewuchs und die enzymatische Veränderung durch die Pilze führten zu einer Verringerung des spezifischen Biogasertrags.

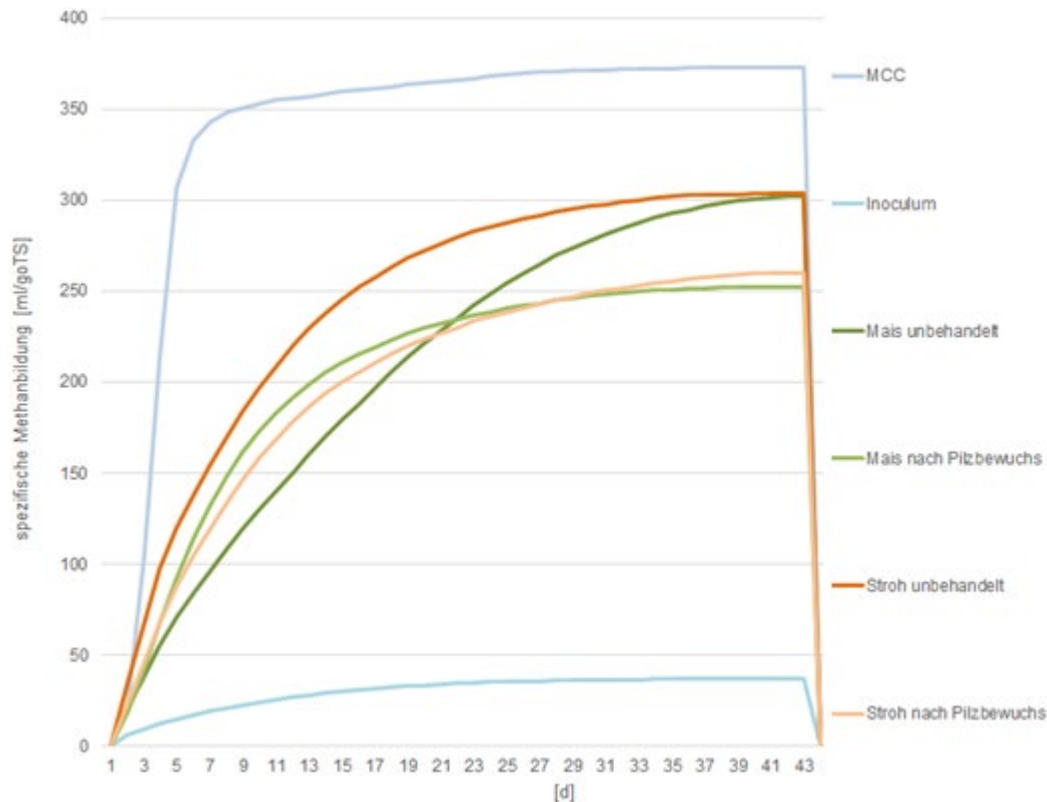


Abbildung 9: spezifische Methanbildung der untersuchten Substrate

4.2 Beurteilung der Aufschlusswirkung und Methanertragssteigerung durch pilzliche Vorbehandlung

Wie im voran genannten Punkt beschrieben, konnte eine Steigerung des Methanertrags durch den pilzlichen Aufschluss nicht nachgewiesen werden. Ursächlich für den geringeren Ertrag ist möglicherweise eine Limitierung von Stickstoffquellen. Durch mehrfache Ernte der verhältnismäßig stickstoffreichen Fruchtkörper, wird bei jeder Erntewelle Stickstoff entzogen. Bei den eingesetzten Substraten (hier Stroh, Maisernteereste) ergaben bereits die Elementaranalysen (nach DIN EN ISO 16948) folgende Werte:

Mais	Stroh	Hanfschäben	Maisspindeln
N: 0,98 %TS	N: 0,71 %TS	N: 0,85 %TS	N: 71 %TS
C: 47,3 % TS	C: 45,9 % TS	C: 47 %TS	C: 48 %TS

Stroh hatte bereits als Ausgangssubstrat ein ungünstiges C:N-Verhältnis von 64,6:1. Die verwendeten Maisernteereste haben sich in allen Versuchen generell als gutes Kultursubstrat für Speisepilze erwiesen. Das C:N-Verhältnis betrug 48,3:1. Als typisches C:N-Verhältnis für Pilzsubstrate gilt ein Richtwert von 45 bis 58:1. Sortenunabhängig gilt als Optimum ein Richtwert von 55:1.

5 AP 5 Herstellbarkeit Formteile und Dämmstoffe

Nicht weiter untersucht wurde ein möglicher Effekt, dass anaerob abbaubare Kohlenstoffquellen während des Pilzwachstums in Chitin umgebaut wurde und deshalb als C-Quelle dem Biogasprozess nicht mehr verfügbar war.

5 AP 5 Herstellbarkeit Formteile und Dämmstoffe

Aus dem Screening möglicher Substrate (AP₁) und der entsprechenden Kombination mit den Speisepilzen, können durch zwei denkbare Verfahren Formteile und Dämmstoffe hergestellt werden:

- a) Durch Zerkleinerung der aufgebrauchten Substratblöcke nach einem konventionellen Anbauverfahren (Kultur in Mikrofilterbeuteln) nach vollständiger Ernte der Speisepilze und erneuter Rekombination durch Myzelwachstum

oder
- b) Durch Direktkultivierung in den gewünschten Formen mit kombinierter Ernte ohne Zerkleinerung und Rekombination des Pilzgeflechtes

Grundsätzlich bieten beide Verfahren Vorteile und Nachteile, welche je nach Skalierung einer späteren Praxisanlage abzuwägen sind. Im kleinen Versuchsmaßstab auf Laborniveau wurde die Kultivierung in Mikrofilterbeuteln und späterer Zerkleinerung mit Rekombination durch erneutes Myzelwachstum in die entsprechenden Formen. Der Nachteil dieser Methode liegt in der mangelnden Nachhaltigkeit durch Nutzung von Einwegfilterbeuteln. Auch die Festigkeit, insbesondere der Ränder, ist begrenzt und ein erheblicher Abrieb ist möglich.

5 AP 5 Herstellbarkeit Formteile und Dämmstoffe



Abbildung 10: Darstellung des Ausgangsstoffes (Maiserntereste) zum Endprodukt (hier: Dämmplatte)

Ein Vorteil bei dieser Methode ist die Flexibilität der Wahl der späteren Formgebung. Bei der Rekombination des zerkleinerten Materials ist die Schrumpfung des Substratblockes kaum vorhanden. Hingegen ist ein häufiger Effekt nach dem vollständigen Durchwachsen des Kultursubstrates bis zum Ende der letzten Ernte, dass sich das Pilzgeflecht zusammenzieht und das Volumen des Substratblockes reduziert. Dieser Effekt ist bei der direkten Kultur in der Endform zu berücksichtigen und die gewünschten Zielgrößen entsprechend größer zu dimensionieren. Die Schrumpfung kann je nach Substratdichte und Pilzart zwischen 1 und 3 % liegen.

Tabelle 4: Gegenüberstellung von Vor- und Nachteilen der Kulturmöglichkeiten

	direkte Kultur in Form	Zerkleinerung und Rekombination
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> - kürzere Dauer bis zum Endprodukt - erspart einen Arbeitsschritt (verbunden mit geringerer Kontaminationswahrscheinlichkeit) 	<ul style="list-style-type: none"> - höhere Homogenität - geringere bis keine Schrumpfung - höhere Flexibilität in der Formgebung
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> - Schrumpfung ist einzuplanen (Unregelmäßigkeiten möglich) 	<ul style="list-style-type: none"> - Abfallaufkommen durch Einwegfilterbeutel

		-zusätzliche Kontaminationsgefahr
--	--	-----------------------------------

6 AP 6 orientierende Untersuchung der Materialeigenschaften

Die Materialeigenschaften konnten nur im Rahmen einfacher Versuche bewertet werden. Diese folgten keiner vereinheitlichten Vorschrift. Für umfangreiche Untersuchungen ist ein Folgeprojekt mit entsprechender Ausstattung für Unteraufträge notwendig. Hier sind akkreditierte Institute für eine Untersuchung zwingend erforderlich.

Für die Versuche wurden Probekörper aus den jeweiligen Substrat-Kulturkombinationen gefertigt. Für die Einheitlichkeit der Probekörper wurde als Kulturmatrix ein Stecksystem aus Edelstahl verwendet. Dieses Stecksystem wurde für die Realisierung einer Machbarkeitsphase bereits angeschafft. Es sollte einen ersten technischen Ansatz für die gleichzeitige Produktion von Speisepilzen und Dämmplatten darstellen (Abbildung 10).

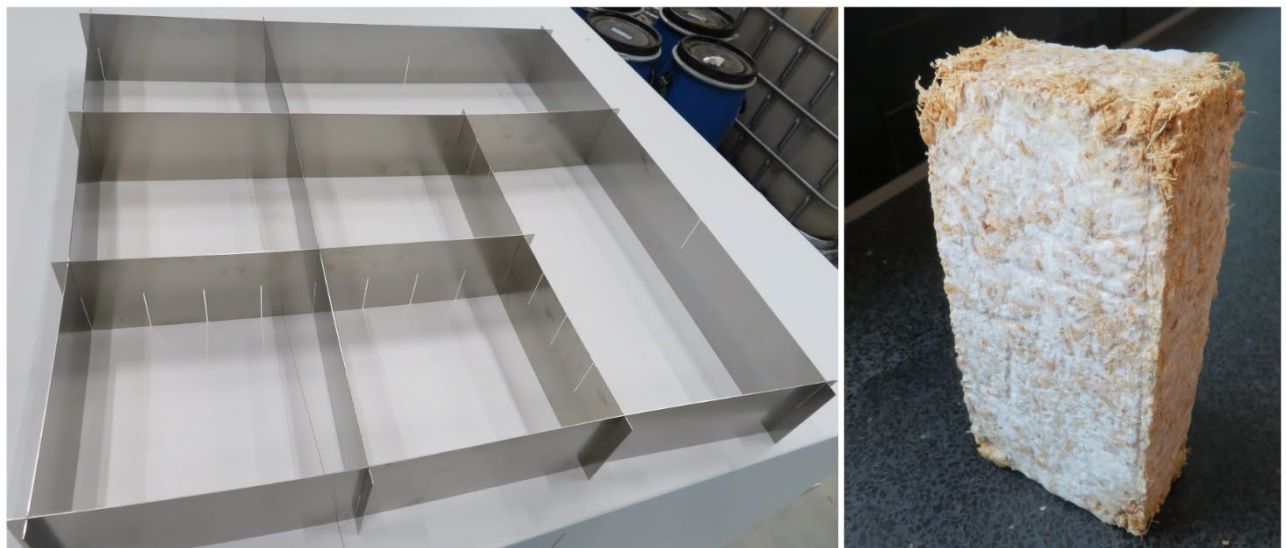


Abbildung 11: Stecksystem aus Edelstahl mit einstellbarer Formkörpergröße

Die kleinsten Sektionen des Stecksystems erzeugen Formkörper mit den Maßen 240x100x60 mm. Für die Erzeugung eines Prüfkörpers wurde der Untergrund des Stecksystems mit Folie ausgekleidet. Anschließend wurden bereits durchwachsene Substrate per Hand zerkleinert, anschließend in die Sektionen gefüllt und dabei etwas komprimiert bis das Substratgemisch bündig an der Oberseite des Stecksystems abschloss. Bei Raumtemperatur und Schutz vor Licht rekombinierte sich das Pilzmyzel über 2 Wochen hinweg und bildete auf diese Weise die entsprechenden Formkörper. Die Formkörper wurden über 24 Stunden im Trockenschrank (105 °C Voreinstellung) getrocknet.

Die Prüfkörper wurden testweise an den Außenkanten der langen Seite mit 2 cm Auflagelänge auf stabile Kanten aufgelegt. Somit lagen 236 mm des Prüfkörpers frei. Für die einfachen Bruchtests wurde nach und nach mit Gewicht (Edelstahlplatten, 115 g Gewicht) beschwert. Die Gewichte wurden dabei so zentral wie möglich auf die Prüfkörper gelegt. Diese einfachen Belastungstests dienen der Orientierung in Bezug auf

6 AP 6 orientierende Untersuchung der Materialeigenschaften

Materialeigenschaften. Grundlegend ist für Dämmplatten, dass diese selbsthaltend sind, also in der Lage sind mindestens ihr eigenes Gewicht zu tragen.

Folgende Substrat-Kultur-Kombinationen waren in keiner Weise stabil oder hielten nur eine oder zwei Platten aus:

- Lackporling-Maisspindeln
- Igelstachelbart-Maisspindeln
- Igelstachelbart-Stroh (zerfiel im frischen Zustand, Test nicht möglich)

Eine mittlere Belastbarkeit (drei bis 10 Platten) und damit eine generelle Eignung als Dämmplatte hatten folgende Kombinationen:

- Lackporling-Maiserntereste
- Lackporling-Stroh
- Lackporling-Hanfschäben
- Igelstachelbart-Maiserntereste
- Igelstachelbart-Hanfschäben
- Seitling Maisspindeln

Als besonders stabil (mehr als 10 Platten) können folgende Kombinationen angesehen werden:

- Seitling-Stroh
- Seitling-Hanf
- Seitling Maiserntereste
- Shii Take-Maiserntereste

Auch wurden Formkörper testweise aus anderen Reststoffen hergestellt, welche in keiner Weise untersucht wurden. Hier sollte nur die generelle Herstellbarkeit untersucht werden. Im Folgenden sind die Erkenntnisse zusammengefasst:

- Seitling-Paludimaterial (Schilf): stabil, gut ausgeformt, sogar Fruchtkörperbildung
- Seitling-Biertreber: nicht als solo-Substrat geeignet (zu feucht), schlechte Bindung, unter Beimengung von Stroh gute Ausformung und mittlere Stabilität
- Seitling-Kaffeesatz: gute Ausformung, gut ausgebildete Fruchtkörper und hoher Ertrag, hohe Kontaminationsanfälligkeit, mittlere Stabilität

6.1 Beurteilung der Dämmeigenschaften

Wie oben genannt ist eine valide Beurteilung der Dämmeigenschaften abschließend nur über akkreditierte Labore möglich.

6 AP 6 orientierende Untersuchung der Materialeigenschaften

In bereits erfolgten Untersuchungen aus voran gegangenen Projekten sind die Isoliereigenschaften von losem Kurzstroh und den Maisernteresten bekannt. Die Maiserntereste wiesen dabei einen Lamda-Wert von $0,02 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ und das Kurzstroh einen Wert von $0,03 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ auf. Damit ist bereits das lose Schüttgut mit konventionellen Dämmstoffen vergleichbar.

Die Dämmeigenschaften sind vermutlich im Bereich von anderen biobasierten Dämmstoffen, ggf. besser, d. h. gleich bis geringfügig schlechter gegenüber konventionellen Dämmmaterialien. Die Dichte der erzeugten Probe-Dämmplatten befanden sich im Bereich von Styropor und Holzweichfaserplatten. Styropor kann in etwa 15 bis $60 \text{ kg} / \text{m}^3$ wiegen. Holzweichfaserplatten liegen zwischen 240 und 800 kg pro m^3 . Die untersuchten Pilz-Dämmplatten wiesen eine Dichte zwischen 30 und 120 kg pro m^3 auf.

6.2 Untersuchung der Brandeigenschaften

In einfachen Orientierungsversuchen wurde der Einfluss des Pilzbewuchses im Vergleich zum Originalsubstrat untersucht. Hierzu wurde ein haushaltsüblicher Küchenbrenner verwendet. Untersucht wurde der Unterschied zwischen originalem Substrat und Pilzprüfkörper. Untersucht wurden Stroh, Maiserntereste und Hanfschäben, welche mit einem Austerseitling durchwachsen waren. Die Untersuchungen sind nicht normgerecht und schwer vergleichbar, da die originalen Substrate lose Schüttgüter bilden und die Dämmplatten nicht. Es wurde die gleiche Masse an Originalsubstrat verwendet um ein Haufwerk zu bilden mit dem gleichen Gewicht, wie die zu beprobende Dämmplatte. Die Zeit bis zur Entzündung und des selbständigen Brennens wurde gemessen.

In allen Versuchen zeigte sich eine Vervielfachung der Entzündungsdauer. Die Verzögerung lag zwischen 5 und 7 Sekunden. Die Entzündungsdauer betrug $1-2$ Sekunden bei Stroh, $2-3$ Sekunden bei Mais und $2-4$ Sekunden bei Hanfschäben. Durch den Pilzbewuchs erhöhte sich diese Dauer bei Stroh auf $4-6$ Sekunden, bei Mais auf $5-6$ Sekunden und bei Hanfschäben auf $5-7$ Sekunden.

Generell konnte eine Brandhemmung durch den Pilzbewuchs festgestellt werden. Eine kritische Eigenschaft, wie schon bei dem Konkurrenzprodukt Holzweichfaserplatte, ist die Neigung zum Schwelbrand. Zumindest über eine halbe Minute schwelten die Prüfkörper nach der Entzündung bis zum endgültigen Erlöschen. Die Auswirkung auf den realen Maßstab ist zu prüfen. Die ersten Erkenntnisse lassen darauf schließen, dass die Pilzdämmplatten bereits ohne Behandlung (Brandschutzmittel) besser sein können als die Konkurrenzprodukte Polystyrolplatten und Holzweichfaserplatten. Die genannten Konkurrenzprodukte sind meist mit Brandhemmern versetzt, um die Anforderungen an den Brandschutz zu erfüllen.

Eine Modifikation mit feuerfesten Naturmaterialien ist dabei denkbar. Der Anspruch an die neu entwickelten Produkte ist, dass diese im Sinne einer biobasierten Kreislaufwirtschaft nach der eigentlichen Nutzung als Biogassubstrat, Brennstoff oder zur Kompostierung eingesetzt werden können und vollständig biologisch abbaubar sind. Denkbar sind Überzüge aus Kalk, Gips oder Tonmineralien. Zu den Überzügen sind auch Zuschläge aus den genannten Mineralen bereits in das Substrat denkbar um die Brandhemmung zu erhöhen.

7 Gesamtbewertung der wirtschaftlichen und technischen Realisierbarkeit, Marktchancen

Schon die bisherigen Vorversuche zeigen die grundsätzliche biotechnologische Realisierbarkeit der kombinierten Erzeugung von Speisepilzen und Formteilen. Sehr realistisch scheint die Umsetzung eines industrialisierbaren Verfahrens, das nach bisheriger Recherche neuartig ist und patentierbar erscheint.

Sowohl das Verfahren als auch die Produktlinien lassen ein hohes Marktpotential erwarten. Der Direktabsatz von Speisepilzen ist zwar in Deutschland ein Nischenmarkt, allerdings mit guten Wachstumschancen aufgrund der ernährungsphysiologischen Eigenschaften und der Einsetzbarkeit im Rahmen fleischloser und fleischarmer Ernährungsweisen (siehe 2.3.1). Die Industrialisierbarkeit und die dadurch gegenüber den derzeitigen Anbaumethoden erwartbare erhebliche Kostensenkung dürfte in Zukunft erweiterte Einsatzmöglichkeiten in dem starken Wachstumsmarkt der Fleischersatzprodukte (siehe 2.3.2) und auch bei fleischreduzierten Flexitarierprodukten eröffnen.

Auch die geplante Produktlinie der Verpackungsformteile trifft auf einen starken Wachstumsmarkt (siehe 2.2.1). Die Herausforderungen im Bereich der Produkteigenschaften sollten in einer Machbarkeitsphase angegangen werden.

Im Bereich der Dämmstoffplatten als alternativer Produktlinie zu den Verpackungsformteilen bestehen ebenfalls technologische Vorteile im Vergleich zu bestehenden Produkten (siehe 2.2.2). Auch hier trifft das mögliche Produkt auf einen grundsätzlichen Wachstumsmarkt, der allerdings im Baustoffsektor mit starken konjunkturellen Schwankungen beheimatet ist. Die gleichzeitige Produktion von Speisepilzen bietet eine gewisse Absicherung gegen die konjunkturellen Schwankungen der Baustoffmärkte. Die hohen Anforderungen bezüglich der Eigenschaften und der Zertifizierung, die auch die Produktionsanlage beinhaltet, stellen eine hohe Herausforderung für Markteintritt und Marktetablierung der geplanten Dämmstoffplatten dar.

Die hohe rohstoffbezogene Wertschöpfung durch die gleichzeitige Produktion von Speisepilzen und Verpackungsformteilen bzw. Dämmstoffen sowie die konzipierte breite Skalierbarkeit bis hin zu recht kleinen Anlagengrößen ermöglichen eine hohe rohstoffseitige Konkurrenzfähigkeit bzw. guten Zugriff auf Rohstoffe (siehe 2.4).

Die vielfältigen Geschäftsmodelloptionen (siehe 2.5) lassen die spätere Umsetzbarkeit aussichtsreich erscheinen. Insbesondere die Option wirtschaftlicher Realisierbarkeit relativ kleinskaliger Produktion mit Direktabsatz der Produkte erleichtert die Option eines initialen Marktzugangs.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wuchsbild der Körnerbrut des Kräuterseitlings vorne und hinten	10
Abbildung 2: Wuchsbild der Körnerbrut des Austernseitlings vorne und hinten	11
Abbildung 3: Wuchsbild der Körnerbrut des Shii Take vorne und hinten.....	11
Abbildung 4: Shii Take-Substratblock auf Basis von Maisernteresten mit ausgebildeter wasserabweisender Kruste	12
Abbildung 5: Direktbeimpfung auf Maisernteresten, Buchenschüppling (l.), Shii Take (m.) und Kräuterseitling (r.) zeigen vollständige Besiedlung des Substrates nach 10 Tagen.....	13
Abbildung 6: Direktbeimpfung auf Maisernteresten, Igelstachelbart (l.), weißer Kräuterseitling (m.) und Austernseitling (r.) zeigen vollständige Besiedlung des Substrates nach 10 Tagen	13
Abbildung 7: Direktbeimpfung auf Maisernteresten, Pioppino (l.), Abaloneseitling (m.) und Estragonseitling (r.) zeigen keine vollständige Besiedlung des Substrates nach 10 Tagen	14
Abbildung 8: erster Kultivierungsaufbau von 1 L-Substratblöcken aus Stroh und Maisernteresten vollständig durchwachsen, hier: Kräuterseitling	15
Abbildung 9: spezifische Methanbildung der untersuchten Substrate	29
Abbildung 10: Darstellung des Ausgangsstoffes (Maiserntereste) zum Endprodukt (hier: Dämmplatte)	31
Abbildung 11: Stecksystem aus Edelstahl mit einstellbarer Formkörpergröße	32

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bewertung der vorausgewählten Pilzkulturen	8
Tabelle 2: ermittelte biologische Effizienzen (BE) der ausgewählten Kultur-Substratkombinationen [G=Ganoderma lucidum (glänzender Lackporling), I=Igelstachelbart, S=Seitling (weißer Lungenseitling) mit M=Maiserntereste, S=Stroh, H=Hanfschäben, MS=Maisspindeln]	16
Tabelle 3: AMPTS II Ergebnisse der untersuchten Substrate (Stroh, Mais vor und nach Pilzbwuchs und Ernte)	27
Tabelle 4: Gegenüberstellung von Vor- und Nachteilen der Kulturmöglichkeiten.....	31