

Schlussbericht

zum FNR-Verbundvorhaben

Thema:

Entwicklung torffreier Abdeckerden für Champignon und andere Kulturpilze

Akronym:

MykoDeck

Zuwendungsempfänger:

Teilvorhaben 1: Entwicklung Herstellungsverfahren Torfersatzstoffe und Auswahl geeigneter biogener Reststoffe sowie analytische Begleitung der Untersuchungen

Teilvorhaben 2: Entwicklung und Herstellung von Torfersatzstoffen für Abdeckerden

Teilvorhaben 3: Entwicklung verschiedener Rezepturen für die Abdeckerde-Varianten und labortechnische Kultivierungsuntersuchungen

Förderkennzeichen / Partner:

Teilvorhaben 1: 2220MT005A / Fraunhofer Institut für keramische Technologie und Systeme IKTS
Nico Domurath, Marc Lincke

Teilvorhaben 2: 2220MT005B / LAV Erdenwerke GmbH
Falko Windisch

Teilvorhaben 3: 2220MT005C / Institut für Holztechnologie Dresden gGmbH IHD
Natalie Rangno

Laufzeit:

01.08.2021 bis 31.07.2024

Monat der Erstellung:

12/2024

Gefördert durch:



**Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft**

**aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages**

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachhaltige Erneuerbare Ressourcen unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorenschaft.

Inhaltsverzeichnis

I.	Kurzbericht	1
1.	Aufgabenstellung	1
2.	Planung und Ablauf des Vorhabens	2
3.	Resümee der wesentlichen Ergebnisse	4
a)	Arbeitspakete und Meilensteine	4
b)	Zusammenfassung	5
II.	Ausführliche Darstellung der Ergebnisse	7
1.	Erzielte Ergebnisse	7
	HAP 1: Erfassung IST-Zustand Pilzproduktion und Abdeckerden	7
	HAP 2: Bereitstellung der Referenzpilze und anderer Kulturpilze für die Kultivierung	12
	HAP 3: Entwicklung und Erprobung von Herstellungsverfahren für Torfersatzstoffe	14
	HAP 4: Entwicklung verschiedener Rezepturen für Abdeckerde	26
	HAP 5: Up-Scaling Herstellungstechnologie sowie Kultivierungsuntersuchungen	31
	HAP 6: Wirtschaftlichkeit, ökologische Bewertung	62
2.	Verwertung	66
a)	Erfindungen / Schutzrechtsanmeldungen	66
b)	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende	66
c)	Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende	66
d)	Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	68
e)	Stand der Erreichung der Verwertungsoptionen, Forschungsdaten	69
3.	Erkenntnisse von Dritten	69
4.	Veröffentlichungen	70
5.	Literaturverzeichnis	75
	ANHANG	1
	Teilvorhaben 1: Fraunhofer IKTS (2220MT005A)	1
1.	Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens	1
2.	Bearbeitete Arbeitspakete	1
3.	Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens	1
	Teilvorhaben 2: LAV Erdenwerke GmbH (2220MT005B)	2
1.	Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens	2
2.	Bearbeitete Arbeitspakete	2
3.	Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens	2
	Teilvorhaben 3: Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH (2220MT005C)	4
1.	Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens	4
2.	Bearbeitete Arbeitspakete	4
3.	Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens	4

I. Kurzbericht

1. Aufgabenstellung

Kulturpilze aus dem gewerblichen Gartenbau werden seit langem als Lebensmittel geschätzt und gewinnen darüber hinaus immer mehr, auch im medizinischen und biotechnologischen Bereich, an Bedeutung. Weltweit wuchs der Markt zwischen 2014 und 2019 mit einer durchschnittlichen Wachstumsrate von 9,5 % pro Jahr. Das Marktvolumen lag 2019 bei 50 Mrd. US Dollar, wobei der Markt von Europa, mit einem Marktanteil von über 40 %, dominiert wird (markets and markets 2019).

Durch den Boom bei veganen und vegetarischen Nahrungsmitteln wird die Nachfrage nach Speisepilzen als Alternative zu tierischen Produkten weiter stark steigen. Die wirtschaftliche Relevanz der Kulturpilze wie Champignon, Shiitake, Kräuterseitling u. a. aus der einheimischen Anzucht, sei es zu kulinarischen Zwecken, zu Lebens- oder Nahrungsergänzungsmitteln oder zur Gewinnung wertvoller Substanzen, wie Enzymen und Aromen, ist bereits heute sehr hoch (Rangno 2024). Laut dem Statistischen Bundesamt (2021) lag die jährliche Produktionsmenge 2018 in Deutschland bei 73.231 t. Bei der derzeitigen Pilzproduktion werden jährlich ca. 270.000 t Substrate und ca. 50.000 t Abdeckerden allein in Deutschland benötigt. Den größten Anteil am Substratverbrauch haben dabei Champignons (Kompostsubstrate und torfhaltige Abdeckerden) mit 93 %. Der Torfverbrauch zur Herstellung der Abdeckerden beträgt allein in Deutschland etwa 100.000 bis 150.000 m³. Vor diesem Hintergrund besteht bei der Pilzproduktion aktuell die Problematik, dass bisher nur nicht einheimische Abdeckerden verwendet werden können, da die ertragreichen torfreichen Abdeckerden zurzeit aus Holland bzw. Polen nach Deutschland importiert werden.

Derzeit sind am Markt keine wirtschaftlich vertretbaren und ertragssicheren Alternativen zu torfhaltigen Abdeckmaterialien verfügbar. Auf Grund von ungeeigneten Rezepturen und daraus folgenden erheblichen Ertragschwankungen in der Pilzproduktion finden torffreie Abdeckerden derzeit keine Anwendung. Mit steigender Pilzproduktion werden bei Beibehaltung dieser Vorgehensweise sowohl der Torfverbrauch für Abdeckerden als auch das Transportaufkommen deutlich steigen, was beides den Klimaschutzbestrebungen der Bundesregierung widerspricht. Gegenstand des Vorhabens war daher die Entwicklung von Rezepturen und Herstellungsverfahren für neuartige, torffreie Abdeckerden zur Produktion von Kulturpilzen auf Basis nachwachsender Rohstoffe bzw. Reststoffen aus deren Verarbeitung. Dieser Ansatz ist das Ergebnis von intensiven Fachdiskussionen zwischen den Projektpartnern und Pilzzüchtern. Wesentlicher Aspekt des Forschungsvorhabens war die Erschließung neuer Roh- und Reststoffe (z. B. Hanfschäben, abgetragene Pilzsubstrate) sowie die effiziente Nutzung von bereits vorhandenen Rohstoffen (Grünschnitt und Laubholzreste), um eine nachhaltige, ökologisch verträgliche und auf einheimischen Rohstoffen basierende Pilzproduktion zu ermöglichen.

Die Herstellung von Pilzsubstraten (Basissubstrate) und Abdeckmaterialien sind komplexe Prozesse, bei denen verschiedene Einflussfaktoren, von der Rohstoffauswahl über Substratzusammensetzung und -vorbehandlung bis hin zur Wahl der richtigen Pilzstämme eine wichtige Rolle spielen (Rangno et al. 2019; Oei 2016). Ein Focus des Vorhabens MykoDeck lag daher auf der genauen Betrachtung und Entwicklung der Herstellungs- bzw. Umwandlungsprozesse der Torfersatzstoffe, um den hohen Ansprüchen der Pilze an die chemischen, physikalischen, granulometrischen sowie biologischen Eigenschaften der Abdeckerden gerecht zu werden. Zur Maximierung der Erträge müssen die Eigenschaften der Abdeckerden auf die verschiedenen Pilzarten und -stämme eingestellt werden. Dazu ist eine zugehörige Verfahrens- und Technologieentwicklung erforderlich, um gleichbleibend hohe Produktqualitäten absichern zu können. Die Ergebnisse sollen auf verwandte, weitere Kulturpilzarten übertragbar sein. Daher wurden im Rahmen des Projekts die Eigenschaften durch Beimengung von mineralischen Bestandteilen und weiteren Zuschlagstoffen gezielt eingestellt.



Abbildung 1: Substrataufbau in der Champignonproduktion (IKTS)

Für einen wirtschaftlichen Einsatz der torffreien Abdeckerden müssen die erzielbaren Erträge auf demselben Niveau oder höher liegen als bei den kommerziell erhältlichen torfbasierten Abdeckmaterialien. Im Rahmen des MykoDeck-Projektes wurde deshalb zur frühzeitigen Qualitätssicherung mit Laborkultivierungsuntersuchungen begonnen, die mit Projektfortschritt unter praxisnahen Bedingungen fortgesetzt wurden. Die Eignungsuntersuchungen der Abdeckmaterialien wurden im Rahmen von MykoDeck an zwei Pilzarten, Champignon und Mandelpilz (ABM-Pilz) als Referenzpilze, durchgeführt. Für einen hohen Ertrag ist neben der Nährstoffversorgung auch ein geringer Schädlings- und Krankheitsdruck notwendig. Daher wurden auch Hygienisierungsmaßnahmen einbezogen.

2. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die innerhalb des Projektes zu realisierenden Aufgabenstellungen wurden arbeitsteilig durch die Projektpartner IKTS, IHD und LAV in drei Teilvorhaben (Tabelle 1) realisiert. Die Umsetzung des Vorhabens erfolgte nach einem gemeinsamen Arbeitsplan, der sich in sieben Hauptarbeitspakete mit untergeordneten Arbeitspaketen (Abbildung 2) auffächert. Zur Erfolgskontrolle wurden im Vorfeld vier Meilensteine festgelegt, die gleichzeitig ein Abbruchkriterium darstellten. Sowohl Arbeitsplan als auch die zu erreichenden Meilensteine sind im folgenden Abschnitt dargestellt.

Tabelle 1: Bezeichnung der partnerspezifischen Teilvorhaben

Fraunhofer IKTS	Entwicklung Herstellungsverfahren Torfersatzstoffe und Auswahl geeigneter biogener Reststoffe sowie analytische Begleitung der Untersuchungen
IHD	Entwicklung verschiedener Rezepturen für die Abdeckerde-Varianten und labortechnische Kultivierungsuntersuchungen
LAV	Entwicklung und Herstellung von Torfersatzstoffen für Abdeckerden

Im Netzwerk des MykoDeck-Projektes wirkten Lieferanten der ausgewählten Roh- und Reststoffe (z. B. Landwirte), Hersteller der Pilzsubstrate und Pilzzüchter mit, so dass während der Entwicklungsarbeiten ein direkter Austausch mit den Lieferanten und Kunden bestand.

Über Unteraufträge wurden für das Up-Scaling der Herstellungstechnologie Abdeckerdenmaterialien sowie für die praxisnahe Durchführung der Kultivierungsversuche zur Bewertung der neuartigen, torffreien Abdeckerden Transferpartner (Substrathersteller, Pilzanbauer) in das Projekt eingebunden. Darüber hinaus wurden einzelne Spezialanalysen an Fremdlabore im Unterauftrag vergeben.

Ausgehend von gewonnen Erkenntnissen zur Bewertung und Aufbereitung von biogenen Reststoffen (IKTS), zur Kompostierung und Herstellung von torfhaltigen und torffreien Kultursubstraten und Pflanzerden (LAV) sowie zur labortechnischen und gewerblichen Pilzkultivierung (IHD) wurde im Rahmen des Projektes MykoDeck eine nachhaltige, ökologisch verträgliche und einheimische Pilzproduktion fokussiert. Hierzu wurden Verfahren und Rezepturen für die Erzeugung von torffreien Materialien für Abdeckerden in der Pilzkultivierung entwickelt und getestet. Da die Pilze hohe Ansprüche an die Eigenschaften der Substrate stellen, waren umfassende systematische Untersuchungen entlang der Herstellungskette der Torfersatzstoffe, der Abdeckerden und deren Anwendung in der Pilzkultivierung erforderlich. Der Arbeitsplan ist in Form eines Gantt-Charts der Abbildung 2 zu entnehmen.

Arbeitspakete Verbundprojekt MykoDeck					2021				2022				2023				2024																													
AP		Beteiligte	Laufzeit	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7							
1	Erfassung IST-Zustand Pilzproduktion und Abdeckerden																																													
1.1	Präzisierte Zusammenstellung der chemischen, physikalischen und biologischen Anforderungen an die Materialien für Deckschichten	IHD, IKTS	Aug. 21 - Okt. 21																																											
1.2	Entwicklung bzw. Anpassung der Analytik von organischen und anorganischen Inhaltsstoffen	IHD, IKTS	Aug. 21 - Nov. 21																																											
1.3	Chemische, physikalische und biologische Bewertung verfügbarer Abdeckmaterialien (Bewertung des IST-Standes)	alle	Sep. 21 - Feb. 22																																											
1.4	Identifizierung und Charakterisierung der Schaderreger (Schädlinge und Krankheiten) von Referenzpilzen in Anzuchtgeräten	IHD, IKTS	Dez. 21 - Feb. 22																																											
1.5	Zusammenfassung der Anforderungen und Erstellung eines Lastenheftes und Auswahl von Leitparametern für die Torfersatzstoffe sowie der Abdeckmaterialien	alle	Jan. 22 - Feb. 22																																											
2	Bereitstellung der Referenzpilze und anderer Kulturpilze für die produktive Kultivierung																																													
2.1	Auswahl von Pilzstämmen und Zusammenstellung der Anforderungen an die Abdeckerde	IHD	Aug. 21 - Okt. 21																																											
2.2	Ermittlung und Charakterisierung der zwei Referenzstämme und fünf anderer Kulturpilze	IHD	Okt. 21 - Jan. 22																																											
2.3	Bereitstellung von Pilzstämmen für labortechnischen Maßstab	IHD	Jan. 22 - Jan. 24																																											
3	Entwicklung und Erprobung von Herstellungsverfahren für Torfersatzstoffe																																													
3.1	Identifizierung und Charakterisierung möglicher Ausgangsstoffe für die Herstellung von Torfersatzstoffen	IKTS, LAV	Aug. 21 - Jan. 22																																											
3.2	Entwicklung Herstellungsverfahren für Torfersatzstoffe für Abdeckmaterialien	LAV, IKTS	Jan. 22 - Jul. 22																																											
3.3	Biologische, chemische und physikalische Bewertung der Torfersatzstoffe sowie der Abdeckmaterialien	IKTS, IHD	Feb. 22 - Apr. 24																																											
4	Entwicklung verschiedener Rezepturen für Abdeckerde																																													
4.1	Entwicklung eines Excel-Tools zur Ermittlung der Mengenanteile zur gezielten Einstellung der Leitparameter	IKTS	Dez. 21 - Jul. 22																																											
4.2	Rezepturenentwicklung unter Nutzung und Anpassung des Excel-Tools	alle	Apr. 22 - Feb. 23																																											
4.3	Laborkultivierungsuntersuchungen mit Referenzpilzstämmen	IHD	Aug. 22 - Jan. 24																																											
4.4	Laboruntersuchungen zur Reduzierung des Schädlings- und Krankheitsdrucks in der Pilzzucht	IHD	Nov. 22 - Okt. 23																																											
4.5	Untersuchung und Bewertung der Torfersatzstoffe und der Abdeckerden hinsichtlich der Lagerstabilität	LAV, IKTS	Apr. 23 - Apr. 24																																											
4.6	Chemische, physikalische und biologische Bewertung der Torfersatzstoffe sowie der Abdeckmaterialien	IKTS, IHD	Mrz. 22 - Apr. 24																																											
5	Up-Scaling Herstellungstechnologie sowie Kultivierungsuntersuchungen																																	</												

Abbildung 2: Arbeits- und Zeitplan des Projektes MykoDeck

3. Resümee der wesentlichen Ergebnisse

a) Arbeitspakete und Meilensteine

Tabelle 2: Übersicht zur Zielerreichung in den Arbeitspaketen

Arbeitspakete (AP)	Bearbeitungszeitraum	Zielerreichung
HAP 1 Erfassung IST-Zustand Pilzproduktion und Abdeckerden	08/2021 bis 02/2022	AP 1.1 und 1.2 in 2021 abgeschlossen, AP 1.3, 1.4 und 1.5 in 2022 abgeschlossen, bis 2023 durch zusätzliche Ergebnisse ergänzt Die Ziele des APs konnten erreicht werden.
HAP 2 Bereitstellung der Referenzpilze und anderer Kulturpilze für die produktive Kultivierung	08/2021 bis 01/2024	AP 2.1 und 2.2 in 2021 abgeschlossen AP 2.3 in 2024 abgeschlossen Die Ziele des APs konnten erreicht werden.

Arbeitspakete (AP)	Bearbeitungszeitraum	Zielerreichung
HAP 3 Entwicklung und Erprobung von Herstellungsverfahren für Torfersatzstoffe	08/2021 bis 04/2024	AP 3.1 und 3.2 in 2022 abgeschlossen AP 3.3 in 2024 abgeschlossen Die Ziele des APs konnten erreicht werden.
HAP 4 Entwicklung verschiedener Rezepturen für Abdeckerde	12/2021 bis 04/2024	AP 4.1 in 2022 abgeschlossen AP 4.2, 4.3 und 4.4 in 2023 abgeschlossen AP 4.5 und 4.6 in 2024 abgeschlossen Die Ziele des APs konnten erreicht werden.
HAP 5 Up-Scaling Herstellungstechnologie sowie Kultivierungsuntersuchungen	01/2023 bis 07/2024	AP 5.1, 5.2 und 5.3 in 2024 abgeschlossen Die Ziele des APs konnten erreicht werden.
HAP 6 Wirtschaftlichkeit, ökologische Bewertung	02/2024 bis 07/2024	AP 6.1 und 6.2 in 2024 abgeschlossen Die Ziele des APs konnten erreicht werden.
HAP 7 Projektkoordination und Publikation	08/2021 bis 07/2024	projektbegleitend erfolgt

Tabelle 3: Übersicht zur Zielerreichung bezüglich der Meilensteine

Meilensteine (M)	Fälligkeit	Zielerreichung
M 1 Lastenheft und Auswahl von Leitparametern für die Torfersatzstoffe sowie die Abdeckmaterialien erstellt	02/2022	Lastenheft erstellt Meilenstein erreicht
M 2 Torfersatz mit den in MS1 festgelegten Parametern (z. B. Wasserhaltevermögen) erfolgreich im Labor erzeugt.	07/2022	Materialgemische mit entsprechender Parameter-eignung im Labor erzeugt Meilenstein erreicht
M 3 Rezepturentwicklung der torffreien Abdeckerde abgeschlossen. Ertrag (z. B. kg pro m ²) bei Champignon vergleichbar oder höher zu konventionelle Abdeckerde (Laborkultivierung)	02/2023	Im Labor konnten vergleichbare Erträge erreicht werden. Iterationen werden für den technischen Maßstab weiter vorgenommen. Meilenstein erreicht
M 4 Herstellung von mindestens 500 kg Abdeckerde mit den festgelegten Parametern (z. B. TR, oTR, Nährstoffgehalt, Porosität)	09/2023	Abdeckerde mit gewünschten Eigenschaften in entsprechenden Volumina hergestellt und in Betriebsversuchen eingesetzt Meilenstein erreicht

b) Zusammenfassung

Ziel des Verbundprojektes MykoDeck (FNR-Nr.: 2220MT005 /08.2021 - 07.2024) war die Entwicklung torffreier Abdeckerden für Champignons und andere Kulturpilze unter Verwendung biologischer Reststoffe aus der regionalen Agrarwirtschaft. Diese Herausforderung wurde von den drei Projektpartnern Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS), LAV Technische Dienste GmbH & Co. KG und Institut für Holztechnologie Dresden (IHD) angenommen, da der Ersatz von Torf in der Pilzproduktion umweltfreundliche und nachhaltige Alternativen fördern kann.

Im Rahmen des Projektes wurden 45 Roh- und Reststoffe untersucht. Aus diesem Materialpool wurden 120 verschiedene Mischungen hergestellt und bewertet. In umfangreichen IHD-Laborversuchen wurden zwölf

Rezepturen für torfreduzierte und -freie Abdeckerden entwickelt, von denen drei präferierte Mischungen in Betriebsversuchen mit Pilzsubstraten der Pilzhof Pilzsubstrat Wallhausen GmbH getestet wurden.

Eine Rezeptur, die lediglich 50 % Torf enthielt, wurde in fünf Betrieben erfolgreich in der Produktion von braunen Champignons getestet. Bei zwei 100 % torffreien Rezepturen, die bei der ReiPiKo Reitzenhainer Pilzkorb GmbH eingesetzt wurden, erwiesen sich die Champignons-Erträge nach der 3. Welle als ähnlich hoch wie bei Einsatz von Torf-Abdeckerden.

Die bisher erzielten Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine 100 % torffreie Champignonproduktion unter bestimmten Voraussetzungen möglich ist. Trotz der positiven Resultate wurden auch negative Erkenntnisse und Probleme identifiziert, die im Rahmen des neuen FNR-Verbundvorhabens MykoDeckPro (FNR-Nr.: 2224MT009/ 10.2024 -12.2027) von den drei Projektpartnern gelöst werden sollen.



Abbildung 3: Champignons auf torffreien MykoDeck-Abdeckerden (IHD)

II. Ausführliche Darstellung der Ergebnisse

1. Erzielte Ergebnisse

Auf den folgenden Seiten werden die Ergebnisse des MykoDeck-Vorhabens entlang der Hauptarbeitspakete (HAP) subsummiert.

HAP 1: Erfassung IST-Zustand Pilzproduktion und Abdeckerden

Das HAP 1 fokussierte die Ermittlung der optimalen Randbedingungen und Verfahrensparameter für die in HAP 3 und HAP 4 durchzuführenden Entwicklungen der Torfersatzstoffe sowie der torffreien Abdeckerden. Im Rahmen einer Literatur- und Patentrecherche zur Pilzkultivierung wurden Daten und Informationen über die einheimischen nachwachsenden Roh- und Reststoffe, Weiß- und Schwarztorf sowie der torfhaltigen Abdeckerden für die Pilzproduktion aktualisiert (**AP1.1**). Auf die Produktion der torfhaltigen Materialien haben sich Hersteller wie z. B. Firma Legro aus Niederlanden und Wokas aus Polen spezialisiert. Darüber hinaus wurde bei der projektbegleitenden Recherche nur eine torffreie Abdeckerde der neu auf dem Markt agierenden Firma Corno (Schweiz) festgestellt. Auf Basis der Literatur-, Patent- und Gesetzesrecherche erfolgte die Identifikation von Leitparametern wie z. B. pH-Wert, Leitfähigkeit, Porenvolumen, Feuchte, Nährstoffzusammensetzung und Wasserhaltekapazität (Tabelle 4).

Tabelle 4: physikalische Eigenschaften von torfhaltigen Abdeckerden

Parameter / Eigenschaft	Wertebereich
Schichtdicke	3 - 5 cm
Vorbehandlungen	Dampfsterilisation (60 - 70 °C / 4 - 8 h)
Leitfähigkeit	0,398 - 0,570 mS/cm
pH-Wert	7,2 - 7,5 (7 - 8)
Schüttdichte	0,60 - 0,68 g/cm ³
Porenvolumen	82 - 92 %
Wasserhaltekapazität	96 - 191 %
Bodenwasserspannung (PF)	2,7 - 3,9

Tabelle 5: Eigenschaftsfenster Weiß- und Schwarztorf (Amberger-Ochsenbauer, Susanne, Meinken, Elke 2020; Eymann et al. 2015; RAL 2017; Stucki et al. 2019)

Parameter		Weißtorf		Schwarztorf	
Rohdichte trocken	g/l	80	150	120	250
Wasserkapazität	Vol.-%	50	70	60	85
Luftkapazität	Vol.-%	20	50	10	30
Wiederbenetzbarkeit		schlecht		schlecht	
pH-Wert		2,5	3,5	2,5	3,5
Salz	g/l		< 0,2		< 0,2
N	mg/l	10	45	10	45
P ₂ O ₅	mg/l	1	5	1	5
K ₂ O	mg/l	5	20	5	20
Mg	mg/l	35	180	35	180
Spurenelemente			niedrig		niedrig
Na	mg/l		< 10		< 10
Cl	mg/l		< 10		< 10
Kationenaustauschkapazität			mäßig		hoch
C/N-Verhältnis		50	100	20	70
mikrobielle Abbaubarkeit		gering		gering	
N-Immobilisierung		gering		gering	

Um die Eigenschaften von Torfen mit dem Produkt „Abdeckerde“ vergleichen zu können, wurden die zwei marktdominierenden torfhaltigen Abdeckerden mehrfach beprobt und analysiert und die Ergebnisse mit den Literaturwerten für Torfe sowie der Abdeckerden verglichen (Tabelle 6).

Tabelle 6: chemische Analyse torfhaltiger Abdeckerden und Vergleich mit Literaturwerten

Gehalte in der getrockneten Substanz (TS)	Eigene Untersuchungen der frischen Abdeckerden aus Produktion		Literatur	
	Abdeckerde B	Abdeckerde T	Sassine et al. 2005	Taparia et al. 2021
	%	%	%	Mmol/l
Hemicellulose	Negativ	Negativ	o.A.	o.A.
Cellulose	23,1	9,6	8,9	o.A.
Lignin	46,5	25,8	2,7	o.A.
NF-Kohlenhydrate	8,4	Negativ	o.A.	o.A.
oTS % TS	77,5	42,8	o.A.	59,7 - 71,2 %
Gesamtstickstoff m-% TS	1,05	1,36	0,78	o.A.
Rohasche m% TS	22,5	57,2	39,2	o.A.
Rohfett	3,1	14,4	o.A.	o.A.
Rohprotein	5,62	8,21	o.A.	o.A.
Rohfaser	12,4	37	o.A.	o.A.
Zucker	6,34	4,25	o.A.	o.A.
Kalium (K)	0,0484	0,0481	0,07	0,2 - 0,3
Magnesium (Mg)	0,304	0,187	0,71	0,7 - 0,9
Phosphor (P)	0,199	0,241	0,48	H ₂ PO ₄ 0,15 - 0,4
Schwefel (S)	0,352	0,746	o.A.	SO ₄ 0,4 - 0,6
Selen (Se)	0,518 mg/kg TS	0,276 mg/kg TS	o.A.	o.A.
Molybdän (Mo)	0,321 mg/kg TS	0,626 mg/kg TS	o.A.	<0,1
Cobalt (Co)	0,863 mg/kg TS	4,14 mg/kg TS	o.A.	o.A.
Nickel (Ni)	1,44 mg/kg TS	3,77 mg/kg TS	o.A.	o.A.

Es wurde festgestellt, dass die chemisch-physikalischen Parameter von Abdeckerden zwischen den Anbietern aber auch einzelnen Chargen stark variieren können. Um eine sinnvolle Aussage zu Eigenschaftskorridoren zu erhalten, erfolgte eine Ausweitung des Analysenprogramms von Abdeckerden mit Ermittlung der Eigenschaften am IHD, dem IKTS und stichprobenartig zur Verifikation in einem Fremdlabor.

Zudem wurden im Rahmen von **AP1.2** einzelne Analysemethoden zur Bestimmung von organischen und anorganischen Inhaltstoffen am IHD entwickelt bzw. angepasst. Die folgenden analytischen Methoden sind etabliert:

- Bestimmung des Extraktstoffgehaltes durch wässrige Extraktion gefolgt von Extraktion in Ethanol (beides Soxhlet-Extraktion)
- Bestimmung der phenolischen Anteile in den Extrakten mittels Folin-Ciocalteu-Methode
- Bestimmung der Lignin- (Klason-Lignin und säurelösliches Lignin), Cellulose- und Hemicellulose-Anteile
- Bestimmung der Zuckeranteile (Hemicellulose)
- Bestimmung des Aschegehaltes nach ISO 3340 durch Veraschung bei 575 °C über mindestens 16 h
- Bestimmung Trockenmasse/Feuchtegehalt

- Elementaranalyse zur Bestimmung der Kohlenstoff-, Stickstoff- und Schwefel-Anteile und Berechnung Rohproteingehalt
- Schwermetallanalyse
- Mineralstoffanalyse
- Weender-Analyse zur Bestimmung der Rohfaser-, ADF, NDF-Werte
- C/H/N und Schwefelbestimmung durch Elementaranalyse
- Zuckerbestimmung mittels HPLC

Die Methoden orientieren sich an den Vorgaben seitens NREL-TAPPI bzw. den Vorschriften zur Weender-Analyse. Angepasst wurde die Zuckerbestimmung mittels HPLC und die Ermittlung des Schwefels durch Elementaranalyse. Für die Elementaranalyse von C/H/N bzw. S wurden die Geräte Leco CHN828 und S 832 benutzt. Parallel wird eine Schnellmethode für die Lignin-Bestimmung erprobt und validiert.

Am IKTS wurden die Methoden zur Bewertung von physikalischen und granulometrischen Parametern an die Substrate adaptiert bzw. aufgebaut (Abbildung 4). Für das neu zu betrachtenden Stoffsystem wurde insbesondere die Probenaufbereitung im Rahmen der Granulometrie angepasst. So wurden die Probenaufbereitungsschritte sowie die Trennschrittgrenzen für die entsprechenden Materialien iteriert und die Zusammenfassung der Verteilungsdaten der unterschiedlichen Messgeräte und -verfahren an die Eigenschaften von Abdeckerden angenähert.

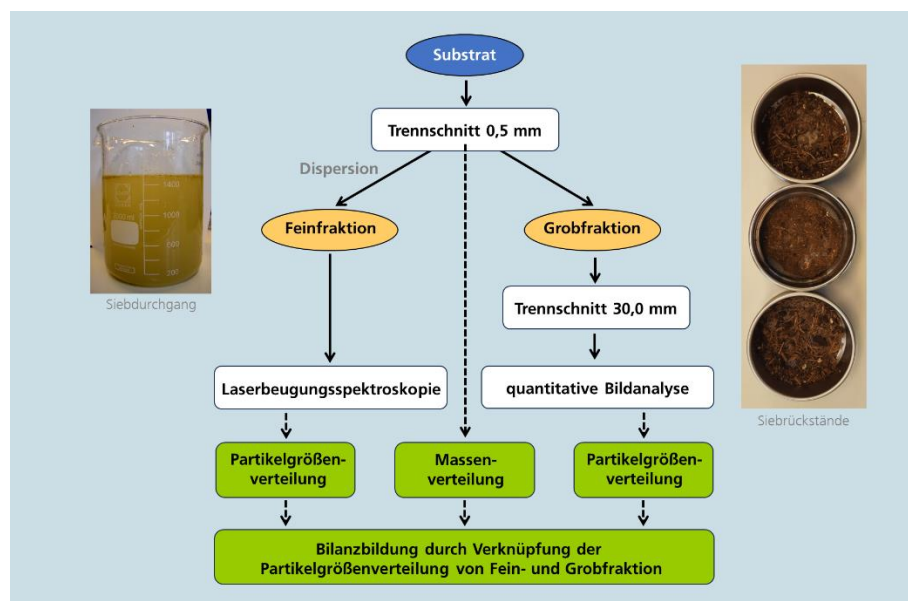


Abbildung 4: Verfahrensschema für die granulometrische Bewertung von Abdeckerden am IKTS

Im AP1.3 erfolgte die chemische, physikalische und biologische Bewertung verfügbarer Abdeckmaterialien. Insgesamt wurden 17 ausgewählte Proben (frische und abgetragene Pilzsubstrate und Abdeckerden) aus der Pilzproduktion physikalisch, chemisch, granulometrisch sowie biologisch untersucht. Weiterhin wurden drei Champignonproduzenten (Pilzland Vertriebs GmbH (24.03.22), Dohme Pilzvertrieb GmbH (29.04.22) und Pilzhof Pilzsubstrat Wallhausen GmbH (29.11.2022)) besucht. Von diesen Betrieben wurden weitere 29 Proben (Abdeckerden und Substrate) in das Analysenprogramm einbezogen. In Abbildung 5 sind granulometrische Verteilungskurven für Realsubstrate aus der Champignonproduktion auszugsweise aufgetragen, während in (IKTS)

Tabelle 7 beispielhaft pH-Werte und Wasseranteile sowie die Keimbelastung auszugsweise aufgeführt sind.

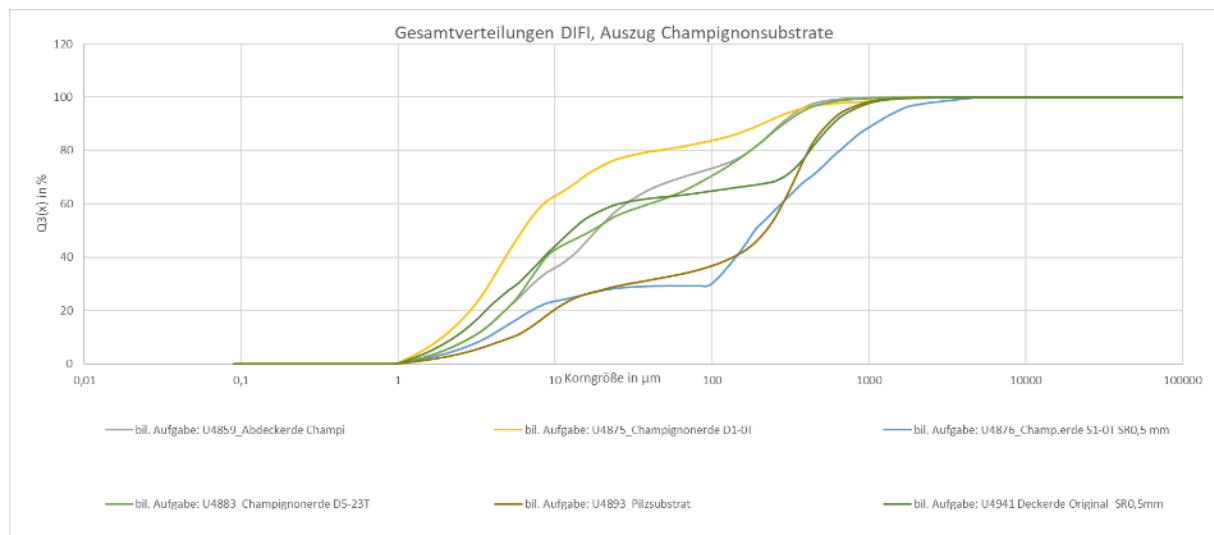


Abbildung 5: granulometrische Gesamtverteilungen für repräsentative Proben aus der Champignonproduktion (IKTS)

Tabelle 7: Auszug der physikalischen und biologischen Untersuchungen von abgetragenen und frischen Pilzsubstraten (IHD)

Probe	interne Nummer	physikalische Untersuchung		biologische Untersuchung [KBE g/Probe]	
		pH	Wasser [%]	PCA	MEA
APD_1 Champignon weiß	APD_1	7,3	82,9	3,80E+06	1,71E+06
APS_2 Champignon weiß	APS_2	6,1	55,9	9,50E+03	5,00E+02
APD_3 Champignon braun	APD_3	7,5	82,9	8,15E+05	1,69E+05
APS_4 Champignon braun	APS_4	5,2	66,6	7,44E+07	3,37E+07
APD_5 ABM	APD_5	7,3	81,9	1,56E+05	1,77E+04
APS_6 ABM	APS_6	5,5	56,2	5,50E+03	8,33E+02
APS_7 Kräuterseitling	APS_7	4,5	65,5	2,78E+05	1,23E+05
APS_8 Kräuterseitling	APS_8	5,7	63,4	2,29E+07	1,38E+07
APS_9 Kräuterseitling	APS_9	6,4	68,0	7,30E+07	2,75E+07
APS_10 Shiitake	APS_10	4,5	24,3	1,53E+05	1,50E+05
APS_11 Samthabe	APS_11	7,7	77,2	3,27E+05	7,73E+04
APS_12 Igelstachelbart	APS_12	4,1	48,1	2,24E+05	4,22E+04
APS_13 Nameko	APS_13	4,1	57,0	4,64E+05	3,06E+05
APS_14 Maitake	APS_14	3,9	59,1	1,67E+03	5,33E+03
APS_15 Austernseitling gelb	APS_15	4,8	63,0	2,17E+05	1,60E+05
D-016 Champignon	D_016	7,3	75,0	4,50E+06	3,65E+05
D-017 Champignon	D_016	7,1	72,0	1,70E+06	1,10E+05
S-025 Champignon	S_025	6,3	68,9	2,32E+05	3,00E+03
D-026 Abdeckerde	D_026	7,0	68,0	4,75E+05	8,72E+04
Abdeckerde 1, d 0	U4875 / IHD34	7,71	83%	2,00E+07	5,14E+05
Substrat weiß, d 0	U4876 / IHD35	6,83	68%	4,72E+07	2,64E+07
Abdeckerde weiß, d 2	U4877 / IHD36	7,79	82%	2,93E+06	8,07E+04
Substrat weiß, d 2	U4878 / IHD37	6,37	74%	3,52E+07	2,32E+07
Abdeckerde, d 9	U4879 / IHD38	7,89	82%	2,64E+06	8,40E+04

Probe	interne Nummer	physikalische Untersuchung		biologische Untersuchung [KBE g/Probe]	
		pH	Wasser [%]	PCA	MEA
Substrat weiß, d 9	U4880 / IHD39	6,00	71%	1,15E+06	1,10E+06
Abdeckerde weiß, d 16	U4881 / IHD40	7,59	82%	4,21E+05	2,30E+04
Substrat weiß, d 16	U4882 / IHD41	5,63	60%	1,23E+07	2,80E+07
Abdeckerde weiß, d 23	U4883 / IHD42	7,38	77%	3,18E+06	1,62E+06
Substrat weiß, d 23	U4884 / IHD43	6,18	64%	3,92E+07	2,40E+07
APS-Gemisch behandelt	U4885 / IHD44	6,79	63%	3,60E+07	3,20E+07
Abdeckerde braun, d 16	U4886 / IHD45	7,29	76%	1,02E+07	4,20E+06
Substrat braun, d 16	U4887 / IHD46	5,62	67%	4,24E+07	3,36E+07
Substrat 0, d 16	U4940 / IHD68	6,35	60	2,56E+05	5,00E+02
Abdeckerde LN	U4941 / IHD69	7,60	81	1,62E+06	1,21E+05
Abdeckerde LN, d 7	U4943 / IHD71	7,75	81	1,25E+06	5,35E+04
Abdeckerde LN2. Welle	U4945 / IHD73	7,65	73	7,80E+05	7,65E+04
Abdeckerde LN 1. Welle	U4946 / IHD74	7,41	73	1,04E+07	5,92E+05
Abdeckerde WP	IHD77	7,52	71	1,10E+06	7,33E+04
Abdeckerde WP 2	IHD78	7,98	77	2,14E+05	6,50E+03
Abdeckerde KN	IHD79	7,63	82	4,07E+05	5,17E+03
Substrat A15 weiß	U5044 / IHD80	6,16	87	2,42E+07	2,40E+07
Substrat Hrlm braun	U5043 / IHD81	6,01	87	6,96E+07	2,70E+07
Abdeckerde LN	U5045 / IHD82	7,60	74%	1,30E+06	6,54E+04
Abdeckerde WP	U5046 / IHD83	7,63	78%	1,02E+06	1,87E+04

Champignons tolerieren pH-Bereiche zwischen 6 und 8, wobei der optimale pH-Wert von Abdeckerden zwischen 7,3 und 7,8 liegen sollte. Dies bestätigte sich auch in den Analysenwerten der kommerziell erhältlichen torfbasierten Abdeckerden. Schimmelpilze bevorzugen einen mäßig sauren pH-Bereich von 5 bis 6. Durch die Einstellung des optimalen pH-Bereichs können somit Schimmelpilze unterdrückt werden. Eine weitere Methode zur Bekämpfung von Schimmelpilzen ist eine nachträgliche Behandlung mit Salzen. Dies zeigt sich auch im Vergleich zwischen frischen und abgetragenen Abdeckerden (Tabelle 8). Für die Bakterien spielt der pH-Wert eine untergeordnete Rolle, da diese einen größeren Toleranzbereich aufweisen.

Tabelle 8: Auszug zur Eigenschaftsveränderung von Deckerden im Laufe eines Anbauzyklus (IKTS)

U-Nr.	Proben-Code	TR [%]	oTR [%]	Volumen- gewicht [g/l]	pH-Wert	Salzgehalt (als KCl) [g/l]	Stickstoff (N) [mg/l]	Ammonium (NH ₄ -N) [mg/l]	Nitrat (NO ₃ -N) [mg/l]	Phosphat (P) [mg/l]	Kalium (K) [mg/l]	Magnesium (Mg) [mg/l]	Calcium (Ca) [mg/l]	Chlorid (Cl) [mg/l]	Eisen (Fe) [mg/l]
4875	D1 Tag0	18,5	76,9	210	7	2,04	39	39	2	267	375	248	74	156	4
4883	D5 Tag23	24,2	75,9	253	7	2,63	130	67	64	404	825	208	322	167	19
	Veränderung	5,7	-1,0	43	0	0,59	91	28	62	137	450	-40	248	11	15

Da Champignons aus bis zu 90 % Wasser bestehen, wird üblicherweise eine Feuchte der Abdeckerde von mehr als 75 % angestrebt. Eine höhere Wasserfeuchte (> 75 %) wurde für alle torfhaltigen Abdeckerden ermittelt. Die torffreie Abdeckerde erwies sich als relativ trocken (56 %).

Die biologische Bewertung basierte auf der Untersuchung der Keimbelastung von frischen und abgetragenen Abdeckerden sowie von Substraten der Referenzpilze, der Isolierung der Reinkulturen sowie der makro-

skopischen und molekulardiagnostischen Untersuchung der Isolate. Dieser Untersuchungsumfang war notwendig, um eine Abschätzung des Kontaminierungsgrads bei der Herstellung von Abdeckerden bzw. bei der Kultivierung der Referenzproben vornehmen zu können.

Die Bestimmung der Keimbelastung (Bakterien und Pilze) erfolgte durch die Auszählung der koloniebildenden Einheiten (KBE) pro Gramm Probe auf zwei Anzuchtmedien: Plate Count Agar (PCA - speziell für Bakterien) und Malz-Agar (MEA - speziell für Pilze und Hefen) über drei Verdünnungsstufen. Die Agarplatten wurden bei 22 °C kultiviert und nach zwei bzw. sieben Tagen ausgewertet.

Die Keimbelastung der Abdeckerden lag durchschnittlich zwischen 10^5 und 10^6 KBE/g bei den Bakterien und 10^3 bzw. 10^5 KBE/g bei den Pilzen. Eine leicht erhöhte Keimbelastung wurde in abgetragenen Abdeckerden beider Referenzpilze festgestellt (Tabelle 7).

Auf Basis der Recherchen (AP1.1) und der eigenen Analysen (AP1.3) konnte das IKTS eine Anforderungsmatrix (biologische, bodenmechanische, rechtliche und technische Anforderungen) für die Abdeckerden sowie deren Verarbeitung erarbeiten. Aus dieser können die Eigenschaften der Ausgangsstoffe, die notwendigen Behandlungsschritte sowie die Mischungsverhältnisse abgeleitet werden.

Im **AP1.4** wurden im IHD aus frischen und abgetragenen Abdeckerden sowie Substraten zahlreiche Bakterien und Pilze isoliert. Es konnten insgesamt 78 Fremdkeime (30 Pilze und 48 Bakterien) isoliert und makroskopisch in Gruppen eingeteilt werden. Die einzelnen Keime wurden als Stämme isoliert und zunächst makro- und mikroskopisch charakterisiert. Die anschließende molekularbiologische Diagnostik umfasste DNA-Extraktion, PCR, Sequenzierung sowie Sequenzanalyse des 16S-rRNA-Gens (Bakterien) bzw. der ITS/5,8S-rRNA-Genregionen (Pilze), nach IHD-Protokoll. Letztendlich konnten 24 verschiedene Bakterienarten und zwölf Schimmelpilze aus den Abdeckerden mittels Sequenzierung identifiziert werden.

Es wurden überwiegend solche mit antagonistischer Wirkung gegenüber den Kulturpilzen gefunden. Am häufigsten waren die Bakterien aus der Gattung *Bacillus* sp. und *Paenibacillus* sp. und die Pilze *Trichoderma* sp. und *Cladosporium* sp. Hierbei handelt es sich um bekannte milde Schädlinge in der Pilzzucht, die einfach um Substratinhaltstoffe mit den Kulturpilzen konkurrieren. Die gefährlichsten Krankheisterreger der Champignons aus dem Reich der Pilze (z. B. *Lecanicillium fungicola*, *Cladobotrym dendroides*, *Mycogone perniciosa*) oder dem Reich der Bakterien (z. B. *Pseudomonas tolaasii* und *P. agarici*) wurden bisher nicht vorgefunden.

Einzelne Beispiele der chemischen Analytik von ausgewählten Materialien und Komponenten für Abdeckerden sind in Tabelle 4, Tabelle 5, Tabelle 6, Tabelle 7 sowie Tabelle 10 dargestellt.

HAP 2: Bereitstellung der Referenzpilze und anderer Kulturpilze für die Kultivierung

Im HAP 2 wurden durch das IHD die Referenzpilze für die Laborkultivierung mit umfassendem Untersuchungsprogramm ausgewählt, beschafft und getestet. Im **AP2.1** wurden im IHD die wirtschaftlich relevantesten Champignonstämme und anderer Speisepilze, die auf einem Basissubstrat (z. B. Pferdemit-Stroh-Kompost) unter Verwendung von torfhaltigen Abdeckerden kultiviert werden, in Form von Stammsammlungen erworben oder aus Fruchtkörpern gewonnen (IHD-Nummer). Die beiden Stämme des Referenzpilzes Champignon sind in **fetter Schrift** dargestellt (Tabelle 9).

Tabelle 9: Pilzarten für Wachstumsversuche; ausgewählte Stämme hervorgehoben (IHD)

Nr.	Pilzart	Name	Stamm
1	<i>Agaricus arvensis</i>	weißer Anis-Champignon	IHD-20-19
2	<i>Agaricus arvensis</i>		7400-MBARO
3	<i>Agaricus augustus</i>	Riesenchampignon, Riesenegerling	IHD-21-12
4	<i>Agaricus bisporus</i>	Champignon braun (Amycel /Pilzhof)	Heirloom
5	<i>Agaricus bisporus</i>	Champignon braun	IHD-13-08
6	<i>Agaricus bisporus</i>	Champignon braun (Moser)	IHD-22-01
7	<i>Agaricus bisporus</i> var. <i>hortensis</i>	Pariser Champignon braun	7243-1LWK
8	<i>Agaricus bisporus</i>	Champignon weiß (Sylvan / Pilzhof)	A15
9	<i>Agaricus bisporus</i>	Champignon weiß	IHD-13-09
10	<i>Agaricus bisporus</i>	Champignon weiß (<i>Calocybe indica</i>)	8401-MBACI
11	<i>Agaricus bisporus</i>	weißer Portobello	IHD-20-18
12	<i>Agaricus bisporus</i> var. <i>bisporus</i>	Champignon weiß (unbekannt)	7215-1LWK
13	<i>Agaricus subrufescens</i> (<i>blazei</i>)	Mandelpilz (ABM)	IHD-17-01
14	<i>Agaricus subrufescens</i> (<i>blazei</i>)		IHD-15-07
15	<i>Agaricus subrufescens</i> (<i>blazei</i>)		IHD-16-07
16	<i>Agaricus subrufescens</i> (<i>blazei</i>)		7700-5LCI
17	<i>Coprinus comatus</i>	Schopftintling	IHD-15-06
18	<i>Coprinus comatus</i>		8102-5LSR
19	<i>Stropharia rugoso-annulata</i>	Kultur-Träuschling	5012-MBASR
20	<i>Lepista nuda</i>	Violetter Rötleritterling	IHD-18-05

Um die Reinheit der Stämme abzusichern, wurden die erworbenen Vermehrungsmaterialien mit konventionellen und molekulardiagnostischen Methoden untersucht. Im Rahmen von Wachstumsversuchen wurden fünf besonders geeignete Referenzstämme für weitere die weitere Bearbeitung ausgewählt. In einem ersten Schritt wurden Agar-Platten beimpft. Mit Hilfe von definierten Klimabedingungen in einem Brutschrank wurde sichergestellt, dass das Myzel sich erfolgreich etablieren konnten (Abbildung 6). Mit Hilfe des so etablierten Hyphengeflechts (Brut) wurden hygienisierte Getreidekörner beimpft. Auch diese wurden unter definierten Klimabedingungen kultiviert, bis sich das Myzel über das gesamte Volumen ausgebreitet hatte.



Abbildung 6: ausgewählte Pilzstämme für Versuche auf MEA-Agarplatte nach 14 Tagen (IHD)

Für Wachstumsversuche wurden zudem die Referenzpilze und andere Kulturpilze auf 6-Well-Platten mit 2 % Malzextraktagar (MEA) bereitgestellt (Abbildung 7).

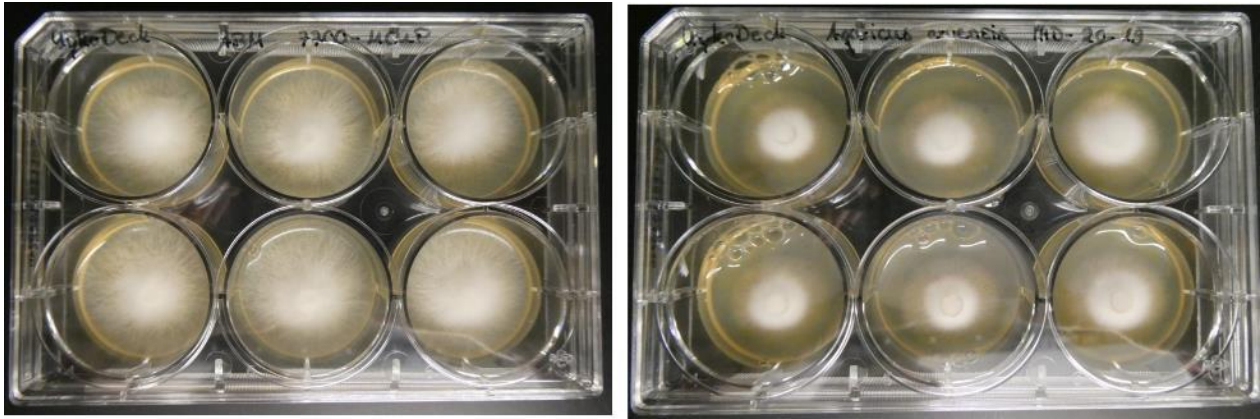


Abbildung 7: Referenzpilz ABM (links) und Weißer Anis-Champignon (rechts), auf MEA-6 Well-Platte nach sieben Tagen (IHD)

AP 2.2 wurde genutzt, um die Basissubstrate der Referenzstämme in labortechnischem Maßstab bereitzustellen. Die beimpften Champignon-Basissubstrate wurden vom Transferpartner Pilzhof Pilzsubstrat Wallhausen GmbH bezogen. Die Referenzstämme (Mandelpilz und Tintling) wurden zur Herstellung der Pilzbrut durch Beimpfung vorbehandelter Körner (2 h bei 120 °C) im Kulturbeker (ca. 50 g) bzw. im Glas (200 g) verwendet. In jedem Kulturbeker wurde ein Pilz-Impfstück überführt, so dass am Ende zu jedem Stamm eine Körnerbrut zur Verfügung stand. Nach zwei bis drei Wochen bei 25 °C war das Trägermaterial, sprich die Körnerbrut, mit Myzel durchwachsen und konnte für die Beimpfung der Basissubstrate (200 g) verwendet werden (Abbildung 8, links). Im nächsten Schritt wird das Basissubstrat mit der Körnerbrut beimpft (Abbildung 8, rechts). Das beimpfte Basissubstrat wird im Anschluss in die jeweiligen Anzuchtgefäße überführt. Diese werden wiederum unter gesteuerten Klimabedingungen kultiviert. Ist das Basissubstrat gut vom Myzel durchwachsen, kann die Abdeckerde aufgebracht werden.

Im Rahmen des **AP 2.3** konnten über den beschriebenen Weg beimpfte Basissubstrate bereitgestellt werden.



Körnerbrut-Gefäße mit Referenzpilzen

Beimpfung des Substrats mit der Körnerbrut

Abbildung 8: Bereitstellung von Pilzstämmen in labortechnischem Maßstab (IHD)

HAP 3: Entwicklung und Erprobung von Herstellungsverfahren für Torfersatzstoffe

Ausgehend von einem Screening, das gemeinsam von den Projektpartnern durchgeführt wurde, konnten im **AP 3.1** die ersten 47 potenziellen Rohstoffe ausgewählt und für die Projektbearbeitung herangezogen werden. Für die Laboruntersuchungen wurden ausgewählte Rohstoffe am IKTS entwässert bzw. vorzerkleinert (Abbildung 9).



Abbildung 9: Probe 021 Hanf vor (links) und nach Zerkleinerung Schneidmühle (rechts) (IKTS)

Am IHD wurden mit den vorbehandelten Rohstoffen erste Wachstumsversuche mit den Referenzpilzstämmen durchgeführt. Auf Grundlage aller verfügbaren Informationen, insbesondere einer Bewertung der wirtschaftlichen Bedeutung und Verfügbarkeit sowie den ersten Wachstumsuntersuchungen wurden über 30 Roh- und Reststoffe für die weiteren Untersuchungen ausgewählt. Alle Proben wurden am IHD und IKTS charakterisiert (Tabelle 10).

Tabelle 10: Auszug aus den physikalischen und biologischen Untersuchungen ausgewählter Roh- und Reststoffe (IHD, IKTS)

Nr.	Bezeichnung	interne Nummer	Probe	physikalische Untersuchung		biologische Untersuchung, nach 48h [KBE g/Probe]	
				pH	Wasser [%]	PCA	MEA
1	Torf	U4735	LAV Baltischer Torf, 10er Körnung	3,84	16	1,47E+05	1,03E+05
2	Torf	U4736	LAV Frästorf schwarz, Agarisi	4,00	37	1,11E+05	9,58E+05
3	Torf	U4737	LAV Norddeutscher Frästorf, erdig	4,10	57	8,53E+04	1,15E+04
4	Holzfaser	U4738	LAV Witumix Holzfaser (B) R1	5,55	14	6,67E+05	8,05E+05
5	Holzfaser	U4739	LAV Holzfaser gemisch (B) R2	5,88	18	1,19E+05	5,92E+04
6	Insekten	U4740	LAV Insektenreste nicht hygienisiert	7,61	29	2,02E+08	1,67E+04
7	Gärreste	U4741	LAV NaWaRo Gärreste (Mais), 90% trocken	8,49	7	1,09E+06	1,03E+04
8	Spreu	U4742	LAV Spreu Dr. Rumpler	6,55	11	5,80E+06	2,78E+06
9	Strohspreu	U4743	LAV Strohspreu Dr. Rumpler (Hohenwarte)	7,63	13	5,97E+06	1,42E+06
10	Ton	U4744	LAV Ton Zeobon, 3-Schicht-Ton	7,66	3	1,42E+04	1,67E+02
11	Kompost	U4746	LAV Kompost RAL GZ 251	8,58	33	3,20E+04	3,75E+04
12	Kompost	U4747	LAV Kompost RAL GZ 251 (GUD)	8,05	21	1,65E+06	2,78E+04
13	Rindenumus	U4748	LAV Rindenumus	6,99	47	4,12E+05	1,49E+05
14	LAV Substrat	U4749	LAV Substratmischung MykoDeck	7,61	31	1,30E+06	1,19E+05
15	Beachsand	U4750	LAV Quarzsand 0-1 mm, gewaschen	8,50	4	1,20E+05	5,00E+02
16	Sand	U4751	LAV Quarzsand 0-2 mm, gewaschen	9,35	3	2,50E+03	0,00E+00
17	Torf 250Liter	U4752	LAV Baltischer Torf Sackware	4,09	55	5,47E+04	8,50E+03

Nr.	Bezeichnung	interne Nummer	Probe	physikalische Untersuchung		biologische Untersuchung, nach 48h [KBE g/Probe]	
				pH	Wasser [%]	PCA	MEA
18	Torf BigBale	U4753	LAV Schwarztorfmix, BigBale	4,26	70	1,39E+05	2,81E+05
19	Hanf fein	U4777 F	IHD Dr. Steger	6,96	9	7,58E+04	4,83E+03
20	Hanf grob	U4777 G	IHD Dr. Steger	7,06	6	1,44E+07	7,71E+06
21	Sphagnum fein	U4779 F	IHD Uni Berlin	4,01	12	1,17E+04	5,33E+03
22	Sphagnum grob	U4779 G	IHD Uni Berlin	4,89	14	1,45E+06	1,03E+06
23	Mais	U4858	IHD Maisspindel Fraktion 7	6,10	5	4,32E+05	3,27E+05
24	Holzfaser	IHD_028	IHD Holzfaser fein	7,02	4	5,00E+03	6,00E+03
25	Weide	IHD_028	IHD Weide 2 (PAS 10)	5,06	3	8,33E+02	1,00E+03
26	Vermiculit	IHD_028	IHD Vermiculit	7,29	2	3,33E+03	1,67E+02
27	Holzfaser	IHD_028	IHD Holzfaser grob	6,80	7	3,17E+03	1,67E+02
28	Buche	IHD_028	IHD Buche Späne Breck	6,31	4	9,00E+03	2,17E+04
29	Flachs	IHD_033	IHD Flachs Dr. Steger	6,30	32	3,96E+05	2,34E+05
30	Holzfaser	IHD_239	IHD Holzfaser Witumix R2	6,54	10	3,06E+05	1,81E+05
31	Kompost 0 /10	IHD_240	LAV Kompost 0 /10	7,38	28	7,31E+05	1,46E+05
33	Kompost 0/25	IHD_241	LAV Kompost 0/25	7,64	41	5,45E+05	6,00E+04
30	Gärrest entwässert	U4895	IKTS Gärrest entwässert	7,40	46	--	--
31	HHS-zerkleinert	U4906	LAV Holzhackschnitzel zerkleinert	5,00	51	--	--
32	Rindenmulch	U4902	LAV Rindenmulch	5,10	47	--	--

Aus der Bewertung der Partikelgrößen- bzw. Partikelformverteilung können z. B. Maßnahmen zur Zerkleinerung abgeleitet werden. In der folgenden Abbildung ist exemplarisch die Größenverteilung der Faserdicke und -länge für die untersuchten Torfe, welche als Referenz- bzw. Zielwert herangezogen wurden, dargestellt.

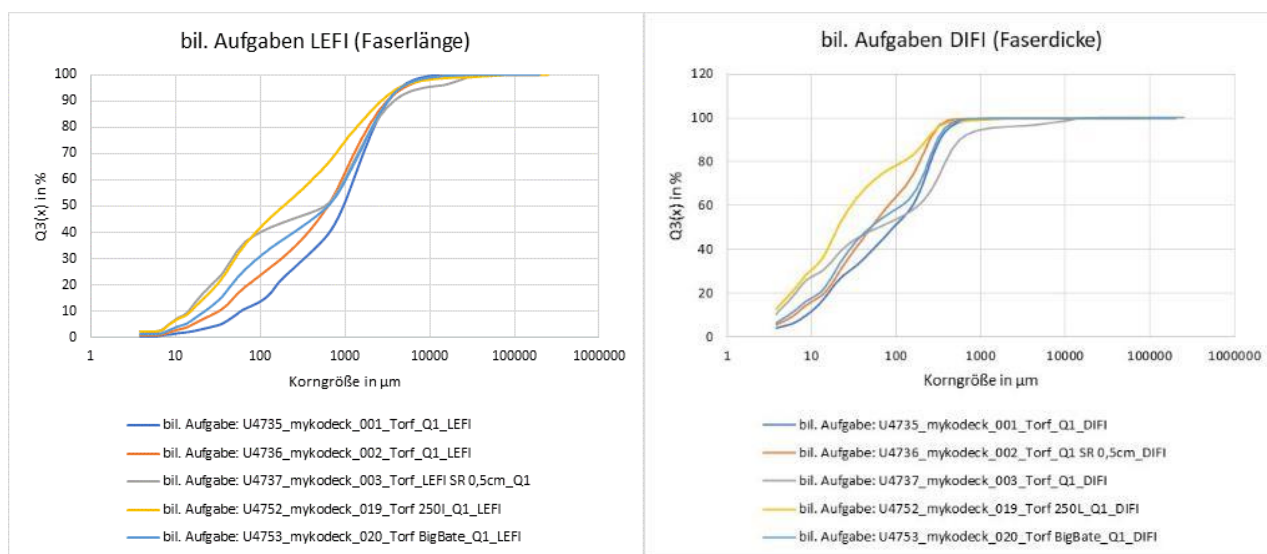


Abbildung 10: Größenverteilung Faserdicke und -länge Torfe (IKTS)

Um zu überprüfen, wie weit der Wassergehalt und der pH-Wert einen Einfluss auf das Wachstum der ausgewählten Referenzpilze haben, wurden diese Parameter bei jeder Probe bestimmt. Zudem wurde die Keimbelastung der Proben ermittelt. Es wurde festgestellt, dass das Wachstum der Referenzpilze bei einigen Proben in der ersten drei Tagen unterdrückt wurde. Ursache hierfür war ein zu niedriger pH-Wert der Komponenten zwischen 3,5 und 4,0. Zur Einstellung (Anhebung) des pH-Wertes wurde Schlämmkreide den Proben mit niedrigem pH-Wert beigemischt. Der optimale Wachstumsbereich liegt bei pH-Werten zwischen 6,5 und 7.

Die Keimbelastung der Proben lag durchschnittlich zwischen 10^4 und 10^6 KBE/g. Eine deutlich erhöhte Gesamtkeimzahl ($> 10^7$ KBE/g) wurde bei den Proben 006 (Insektenreste) und 022 (Hanf grob) sowie bei den abgetragenen Pilzsubstraten APS_4 (Champignon braun), APS_8 (Kräuterseitling) sowie APS_9 (Kräuterseitling) auf den PCA-Platten festgestellt (Tabelle 6 und Tabelle 5). Um die Auswirkung der Keimbelastung der Proben auf das Wachstum der Referenzpilze zu untersuchen, wurden die Wachstumsversuche mit unbehandelten sowie mit thermisch behandelten Proben (20 min bei 120 °C, hygienisiert) durchgeführt (Abbildung 11). Bei den Untersuchungen wurde die Feuchte der Komponenten jeweils zwischen 70 % und 80 % eingestellt. Allgemein ließ sich nach einer Woche der Wachstumsversuche feststellen, dass die thermisch behandelten Proben ein geringfügig besseres Wachstum aufwiesen. Bei den abgetragenen Pilzsubstraten (z. B. Kräutersaitling Nr. 12, Abbildung 11 und Abbildung 12 obere Reihe Schale 8) konnte bei unbehandelten Proben zu keinem Zeitpunkt Myzelwachstum festgestellt werden, während in der behandelten Probe ein sehr gutes Wachstum festzustellen war. Auf Grund dieser Ergebnisse wurden die Keimbelastung sowie die Bewertung der Mikroorganismen in ihren Gemeinschaften als Leitparameter im Projekt definiert.



Abbildung 11: Champignon-Wachstumsversuche mit unbehandelten Proben nach sieben Tagen (IHD)

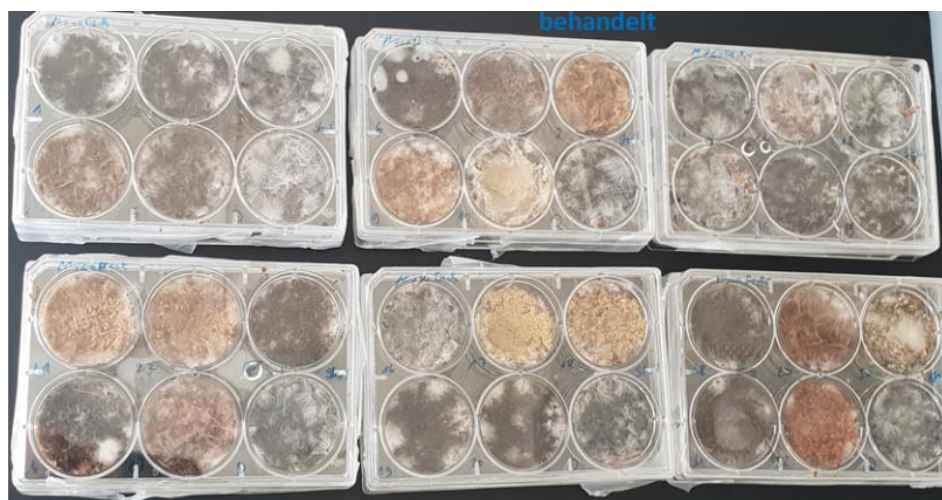


Abbildung 12: Champignon-Wachstumsversuche mit behandelten Proben nach sieben Tagen (IHD)

Aus den Voruntersuchungen der potenziellen Rohstoffe zeigte sich, dass sowohl eine mechanische Vorbehandlung zur Einstellung der Partikelgröße, des Wassergehalts und der Wasseraufnahmefähigkeit als auch eine Hygienisierung (thermisch und/oder biologisch) notwendig sind.

Im Rahmen des Projektes (**AP 3.2**) wurden daher unterschiedliche Zerkleinerungstechnologien, wie Schneidmühle, Hammermühle, Kugelmühle und Extruder sowie Entwässerungsaggregate, wie Schwingsieb und Schneckenpressen, getestet (Abbildung 13, Abbildung 14). Die Ausgangsmaterialien für die Untersuchungen wurden durch die Partner bereitgestellt. LAV hat insbesondere die voluminösen Rohstoffe, wie Holzhackschnitzel, Rindenmulch, Komposte oder Gärreste in den entsprechend geforderten Qualitäten beschafft, während sich IHD und IKTS für speziellere Stoffgruppen wie Hanfschäben und -fasern oder Gärrestfasern verantwortlich zeigten. Im Rahmen der Vorbehandlung wurde auch eine biologische, z. B. durch Kompostierung, sowie eine thermo-mechanische Hygienisierung, [REDACTED] bis hin zum kleintechnischen Maßstab betrachtet. Bei der biologischen Hygienisierung wurden die Vorgaben der RAL-Gütesicherung eingehalten. Im Verlauf der aeroben Hygienisierung müssen die folgenden Zeiten möglichst aneinanderhängend in Abhängigkeit der Temperatur erreicht werden.

- 55 bis 59 °C für mindestens 14 Tagen oder
- 60 bis 64 °C für mindestens 6 Tage oder
- mehr als 65 °C für mindestens 3 Tage

Bei der thermisch-mechanischen Behandlung wurde das Material je nach Wassergehalt auf 80 °C und 95 °C erhitzt. Diese Temperatur wirkt zwar nur kurzzeitig auf die Materialien ein, da es sich jedoch um einen kleinvolumigen, kontinuierlichen Materialstrom handelt, wirken die Umgebungsbedingungen intensiv genug, um einen Hygienisierungseffekt zu erzielen. Alternativ können die Materialien auch einer Dampfbehandlung unterzogen werden. Diese wird jedoch als zu energie- und kostenintensiv angesehen.



Abbildung 13: Separation und Waschung von Gärrestfasern (links), Entwässerung gewaschene Gärrestfasern mit Schneckenpresse (rechts) (IKTS)



Abbildung 14: Schneidmühle (links), Hammermühle (rechts) (IKTS)



Abbildung 15: Aufnahmen verschiedener Behandlungsschritte unterschiedlicher Ausgangsmaterialien (IKTS)

Im Rahmen des AP 3.2 konnten die notwendigen rohstoffspezifischen Vorbehandlungsmaßnahmen identifiziert werden.

Das Ziel des **AP 3.3** bestand darin, die unbehandelten und aufgearbeiteten Rohstoffe sowie die erzeugten Mischungen biologisch, chemisch und physikalisch zu bewerten. Durch das IKTS wurden physikalische Prüfungen von Substraten, Ausgangsmaterialien, Zwischenprodukten sowie der MykoDeck-Mischungen vorge-

nommen. Dabei standen insbesondere Informationen zum Wasserhaushalt im Fokus. Für die schnelle Bewertung des Wasserspeicherfähigkeit wurde das Trocknungsverhalten unter standardisierten Bedingungen herangezogen. Hierfür wurden Trocknungskurven der vollständig gesättigten Materialien aufgenommen. Über den zeitlichen Verlauf können Aussagen zur Wasseraufnahme und -abgabe getroffen werden. Als weiterer Parameter erfolgte eine Partikelgrößen- und Partikelformanalyse mit Hilfe optischer Messverfahren (vgl. AP 1.2). Über die Struktur und Größe der Partikel können Wirkungen der Vorbehandlungsstufen auf die Wasserspeicherfähigkeit nachgewiesen werden. Die Untersuchungen wurden für in Nutzung befindliche Substrate und Deckerden, ausgewählte Substratkomponenten und Ersatzstoffe sowie im Labormaßstab hergestellte MykoDeck-Mischungen durchgeführt. Die Trocknungskurven der Abbildung 16 und Abbildung 17 zeigen deutlich, dass es den MykoDeck-Partnern gelungen ist, Schlüsseleigenschaften, wie das Wasserabgabeverhalten in experimentellen Mischungen ohne Torfanteil herzustellen (**Meilenstein 2**). Besonderes Augenmerk wurde durch den Partner LAV darauf gelegt, dass die eingesetzten Materialströme in entsprechenden Mengen und Qualitäten verfügbar sind, sodass sich im Rahmen der angestrebten Skalierung Risiken minimieren lassen.

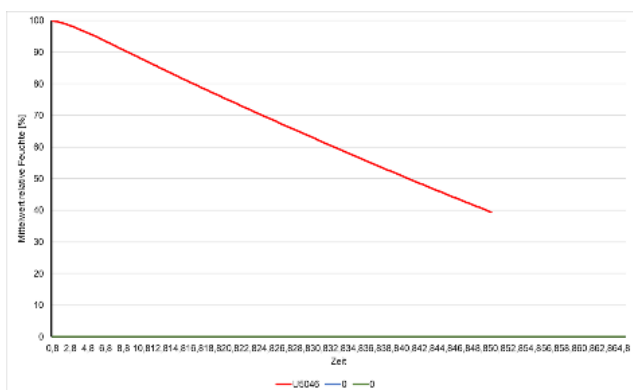


Abbildung 16: Trocknungskurve torfhaltiges Praxisprodukt Abdeckerde W (IKTS)

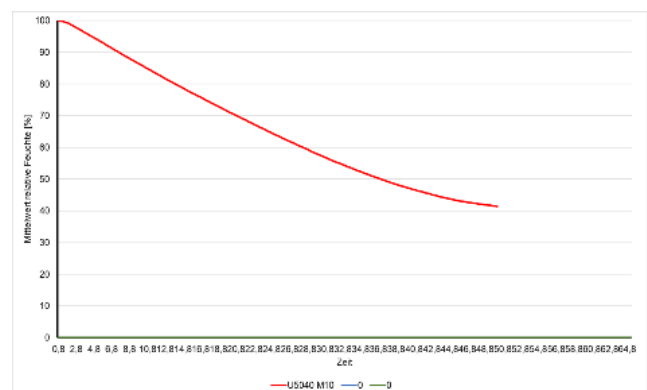


Abbildung 17: Trocknungskurve torffreie MykoDeck-Mischung M10 (IKTS)

Die mikrobiologische Bewertung erfolgte durch die Untersuchung der Fremdkeimbelastung von Abdeckerden und Substraten. Als Fremdkeime werden alle Organismen außer Champignons definiert. Hierzu zählen Bakterien, aber vor allem niedere Pilze, wie der Schimmelpilz. Die Bestimmung der Fremdkeimbelastung erfolgte durch die Auszählung der koloniebildenden Einheiten (KBE) pro Gramm Probe auf zwei Anzuchtmedien: Plate Count Agar (PCA - speziell für Bakterien) und Malz-Agar (MEA - speziell für Pilze und Hefen) über drei Verdünnungsstufen (Abbildung 18).

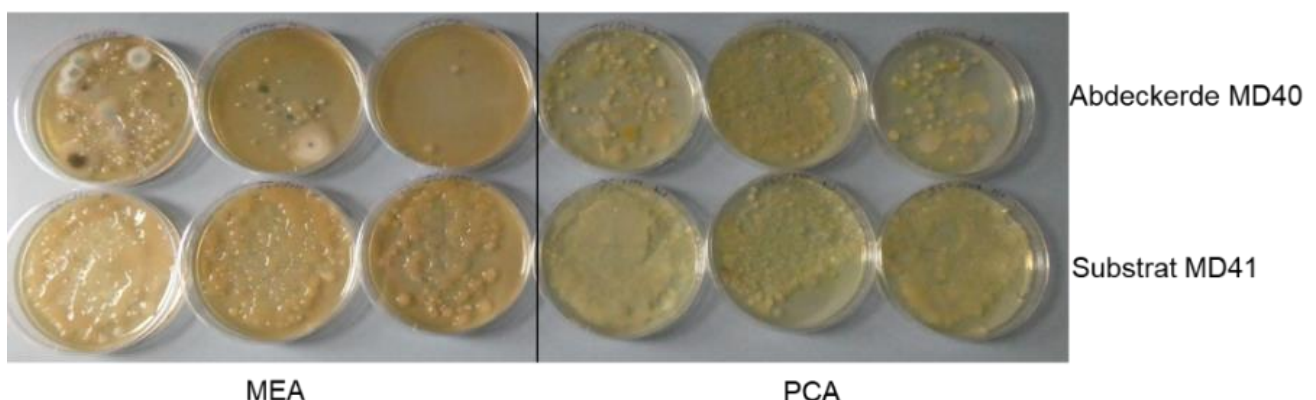


Abbildung 18: Bestimmung der KBE/g von Proben auf PCA und MEA Agarplatten (IHD)

Die Agarplatten wurden bei 22 °C kultiviert und nach zwei bzw. sieben Tagen ausgewertet. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in der Tabelle 11 dargestellt. Es konnten in Plate Count Agar-Petrischalen (PCA) eine

größere Anzahl an Bakterienarten identifiziert werden als sich auf Malzextrakt-Agar (MEA) als Nährmedium ansiedeln konnten. Die Fremdkeimbelastung der Abdeckerden lag durchschnittlich zwischen 10^5 und 10^7 KBE pro Gramm der Probe. Eine erhöhte Gesamtkeimzahl (größer 10^7 KBE/g) wurde in allen Substraten von braunen und weißen Champignons festgestellt. Zudem wurden weitere einzelne Bakterien und Fremdpilze in den Abdeckerden und Substraten identifiziert (Abbildung 19 und Abbildung 20).

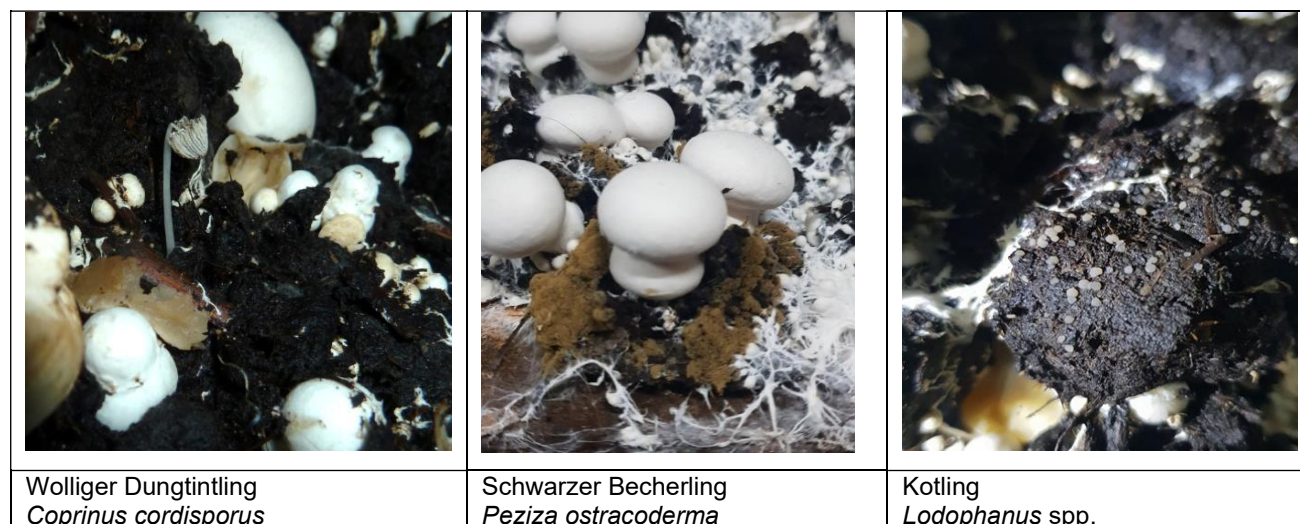


Abbildung 19: Fremdpilze aus der Probe MD 76 (nach 2. Welle) (IHD)

Um die Auswirkungen der Bakterien und Fremdpilze auf das Myzelwachstum sowie die Fruktifizierung zu verstehen, wurden Isolate makro- und mikroskopisch sowie molekulardiagnostisch charakterisiert. Die Art-Identifizierung der Bakterien erfolgte mittels Sequenzierung, da die phänotypischen Merkmale nicht so wie bei den Schimmelpilzen offensichtlich sind. Die Artzuordnung der Schimmelpilze (ITS-rDNA) war im Vergleich zur Bakterien-Identifizierung (16S-r DNA) erfolgreich. Allgemein zeigte sich, dass die beiden ausgewählten Genregionen für die Sequenzierung nur sehr bedingt für eine Artendifferenzierung geeignet sind. Aufgrund der Homologie bzw. Heterogenität der Sequenzen war die Artendifferenzierung bei manchen Spezies unmöglich. Diese wurden nur zur entsprechenden Gattung zugeordnet. Insgesamt war es möglich, von 140 einzeln isolierten Keimen (98 Bakterien und 42 Pilze) und bei Isolaten (77 Bakterien und 18 Pilze) auswertbare Sequenzen zu erhalten und diese einer Spezies zuzuordnen (Tabelle 13). Die am häufigsten isolierten Bakterien sind in Abbildung 20 dargestellt.

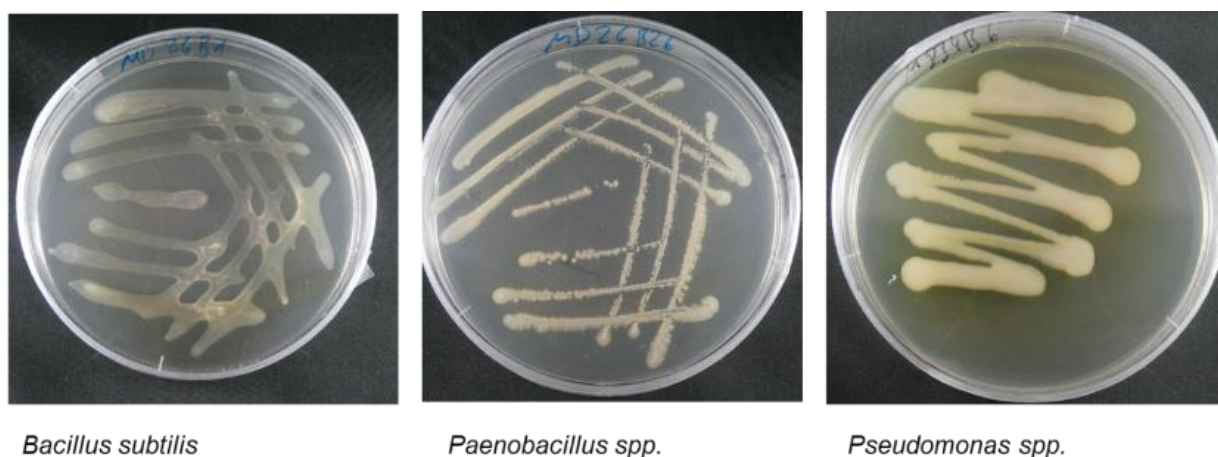


Abbildung 20: häufig in Abdeckerden vorgefundenen Bakterien (IHD)

Mit isolierten Bakterien und Schimmelpilzen erfolgte ein Dualkultur-Test (Konfrontationstest), um die Antagonisten bzw. Synergisten der Referenzpilze zu ermitteln. Derzeit werden die Daten noch ausgewertet.

Tabelle 11: isolierte Fremdkeime aus Abdeckerden und Substraten (IHD)

#	Name	int. Nummer MD, Bakte- rium (B) oder Pilz (P)	Vor- kom- men	#	Name	int. Nummer MD, Bakte- rium (B) oder Pilz (P)	Vor- kom- men
Bakterien							
1	<i>Acidovorax soli</i>	MD34 B20	D	40	<i>Pseudomonas sp.</i>	MD45, B11	D
2	<i>Arthrobacter psychrolactophilus</i>	MD34 B4	D	41	<i>Pseudomonas sp.</i>	MD45, B3	D
3	<i>Brevundimonas bullata</i>	MD34, B23	D	42	<i>Pseudomonas sp.</i>	MD45, B4	D
4	<i>Comamonas jiangduensis</i>	MD34, B19	S	43	<i>Pseudomonas sp.</i>	MD45, B5	D
5	<i>Dyadobacter hamtensis</i>	MD34, B26	D	44	<i>Flavobacterium sp.</i>	MD45, B6	D
6	<i>Janthinobacterium lividum</i>	MD34, B10	D	45	<i>Microbacterium sp.</i>	MD45, B8	D
7	<i>Paeniglutamicibacter sp.</i>	MD34, B14	D	46	kein Ergebnis	MD45, P2	S
8	<i>Pedobacter panaciterrae</i>	MD34, B17	D	47	<i>Enterobacter sp.</i>	MD46, B1	S
9	<i>Pseudomonas composti</i>	MD34, B9	D	48	<i>Pseudomonas sp.</i>	MD46, B5	S
10	<i>Pseudomonas plecoglossicida</i>	MD34, B15	D	49	<i>Pseudomonas sp.</i>	MD46, B6	S
11	<i>Pseudomonas sp.</i>	MD35, B1	S und D	50	<i>Enterobacter sp.</i>	MD46, B8	S
12	<i>Pseudomonas veronii</i>	MD34, B8	D	51	<i>Arthrobacter sp.</i>	MD69, B10	D
13	<i>Rahnella aquatilis</i>	MD34, B5	D	52	<i>Acidovorax sp.</i>	MD69, B11	D
14	<i>Yersiniaceae bacterium</i>	MD34, B13	D	53	<i>Arthrobacter sp.</i>	MD69, B14	D
15	<i>Bacillus subtilis</i>	MD26, B1	D	54	<i>Janthinobacterium lividum</i>	MD69, B18	D
16	<i>Ralstonia pickettii</i>	MD68, B1	S und D	55	<i>Pseudomonas sp.</i>	MD69, B23	D
17	<i>Sphingomonas zeae</i>	MD68, B2	S und D	56	<i>Pseudomonas sp.</i>	MD69, B7	D
18	<i>Lactococcus raffinolactis</i>	MD69, B12	D	57	<i>Pseudomonas sp.</i>	MD71, B1	D
19	<i>Pseudomonas sp.</i>	MD69, B17	D	58	<i>Pseudomonas sp.</i>	MD71, B13	D
20	<i>Flavobacterium frigidimaris</i>	MD42, B13	D	59	<i>Pseudomonas sp.</i>	MD71, B16	D
21	<i>Flavobacterium resistens</i>	MD26, B24	D	60	<i>Microbacterium sp.</i>	MD71, B19	D
22	<i>Flavobacterium saccharophilum</i>	MD42, B7	D	61	<i>Scytalidium cuboideum</i>	MD71, B8	D
23	<i>Lelliottia amnigena</i>	MD46, B2	S	62	<i>Pseudomonas mandelii</i>	MD72, B10	D
24	<i>Pseudobacter sp.</i>	MD71, B9	D	63	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	MD72, B4	D
25	<i>Pseudomonas azotoformans</i>	MD34, B18	D	64	<i>Rahnella aquatilis</i>	MD72, P2	D
26	<i>Pseudomonas sp.</i>	MD34, B21	D	65	<i>Pseudomonas sp.</i>	MD74, B1	D
27	<i>Comamonas sp.</i>	MD34, B22	D	66	<i>Pseudomonas sp.</i>	MD75, B1	D
28	<i>Pseudomonas migulae</i>	MD34, B27	D	67	<i>Niallia circulans</i>	MD75, B3	D
30	<i>Pseudomonas sp.</i>	MD34, B6	D	68	<i>Paenibacillus sp.</i>	MD25, B1	S
31	<i>Pseudomonas sp.</i>	MD42, B1	D	69	<i>Bacillus subtilis</i>	MD26, B3	D
32	<i>Microbacterium esteraromaticum</i>	MD42, B10	D	70	<i>Paenibacillus sp.</i>	MD26, B5	D
33	<i>Pseudomonas frederiksbergensis</i>	MD42B11	D	71	<i>Microbacterium sp.</i>	MD26, B7	D
34	<i>Chryseobacterium sp.</i>	MD42, B14	D	72	<i>Pseudoduganella sp.</i>	MD26, B9	D
35	<i>Pseudomonas sp.</i>	MD42, B3	D	73	<i>Paenibacillus sp.</i>	MD26, B16	D und S
36	<i>Pseudomonas helmanticensis</i>	MD42, B4	D	74	<i>Flavobacterium resistens</i>	MD26, B25	D

#	Name	int. Nummer MD, Bakterium (B) oder Pilz (P)	Vorkommen	#	Name	int. Nummer MD, Bakterium (B) oder Pilz (P)	Vorkommen
37	<i>Pseudomonas abietaniphila</i>	MD42, B5	D	75	<i>Sphingomonas aerolata</i>	MD26, B26	D
38	<i>Pseudomonas</i> sp.	MD42, B6	D	76	<i>Microbacterium</i> sp.	MD77, B3	D
39	<i>Pseudomonas</i> sp.	MD45, B1	D	77	<i>Pseudomonas helmanticensis</i>	MD42, B4	D
Schimmelpilze							
1	<i>Penicillium melinii</i>	MD26, P1	D	10	<i>Pseudeurotium</i> sp.	MD69, P15	D
2	<i>Penicillium ochrochloron</i>	MD26, P3	D	11	<i>Geotrichum candidum</i>	MD71, P10	D
3	<i>Penicillium psychrosexuale</i>	MD26, P5	D	12	<i>Umbelopsis vinacea</i>	MD71, P15	D
4	<i>Pseudeurotium ovale</i>	MD26, P6	D	12	<i>Geotrichum candidum</i>	MD76, P1	D
5	<i>Penicillium</i> sp.	MD26, P2	D	14	<i>Paecilomyces</i> sp.	MD76, P2	D
6	<i>Umbelopsis isabellina</i>	MD34, P11	D	15	<i>Trichoderma viride</i>	MD79, P1	D
7	<i>Dissophora ornata</i>	MD69, P10	D	16	<i>Penicillium citreonigrum</i>	MD79, P2	D
8	<i>Penicillium</i> sp.	MD69, P12	D	17	<i>Microbacterium esteraromaticum</i>	MD42, B10	D
9	<i>Umbelopsis vinacea</i>	MD69, P14	D	18	<i>Chryseobacterium</i> sp.	MD4, B14	D
D - Deckerde; S - Substrat							

Um die biologische Bewertung weiter zu fassen, wurde zusätzlich im Rahmen von Tastversuchen, angelehnt an die DIN EN ISO 11269-2 zur Bodenbeschaffenheit, der Einfluss von in Produktion befindlichen Deckerden, gärtnerischer Erden, potenzieller Torfersatzstoffe sowie verschiedener Mischungen auf den Saataufbau und das frühe Wachstum von Pflanzen untersucht. Insgesamt wurden 32 Varianten untersucht. Als Versuchspflanzen wurden Blumenkohl und Chinakohl, die am IKTS auch für andere Substrattests genutzt werden, eingesetzt. Die kurze Kulturzeit und die sensible Reaktion auf chemische als auch physikalische Störgrößen empfehlen die beiden Pflanzenarten für Untersuchungen dieser Art. Auf die Einbindung einkeimblättriger Pflanzen wurde in den Tastversuchen verzichtet. Für die Durchführung wurde der PhytoTox-Versuchsstand des IKTS (Abbildung 21) genutzt, der standardisierte, jahreszeitlich und Tageslicht unabhängige Bioassays ermöglicht. Substratkomponten und -mischungen, die sich für die Verwendung als Abdeckerde in der Champignonkultur eignen, müssen sich nicht zwangsweise auch für die gärtnerische Pflanzenzucht eignen und vice versa. Dennoch lassen sich aus den Pflanzenversuchen Eignungseigenschaften ableiten. Einen Einblick in die Variabilität der Ergebnisse gewährt Abbildung 22 (links), die die Ergebnisse der Frischmassenerhebung für die Varianten mit Blumenkohl zusammenfasst. In Abbildung 21 (rechts) illustrieren einige Beispielfotos die sehr unterschiedlichen Entwicklungen der Pflanzen in Kontrollsubstraten, in Produktion befindlichen Deckerden und einigen der torffreien Substratmischungen. Einige der Materialmischungen heben sich sowohl in den Pflanzenversuchen als auch den Laborversuchen mit den Pilzen als positiv hervor und werden auch deshalb weiter untersucht.



Abbildung 21: Blick in eine Ebene des PhytoTox-Versuchsstands während des Auflaufs der Pflanzen im MykoDeck-Tastversuch (IKTS)

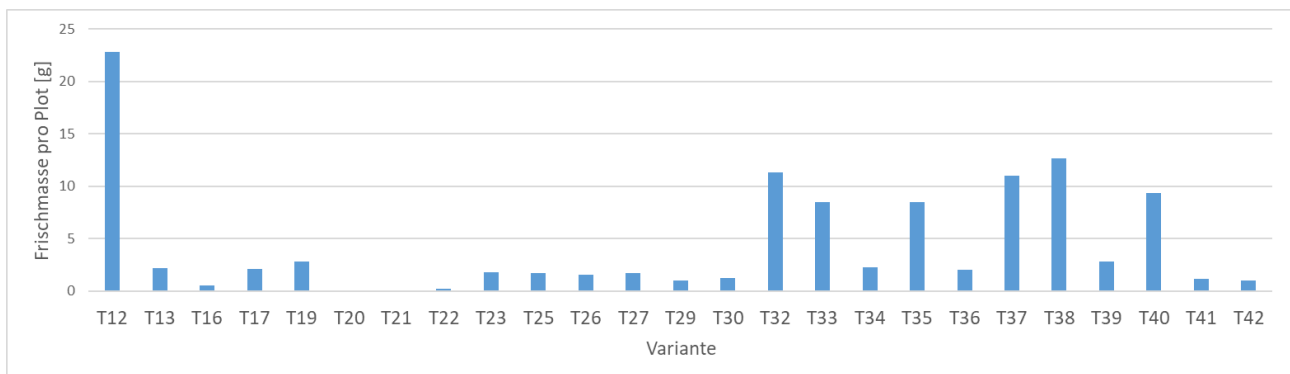


Abbildung 22: Frischmassen der Blumenkohl-Varianten im Tastversuch (IKTS)

Weiterhin wurden in AP 3.3 die Substrate und torfhaltige Abdeckerden chemisch analysiert, um optimale Einsatzmengen bzw. Mischungsverhältnisse entsprechend der Inhalts- bzw. Nährstoffe der Torfersatzstoffe bzw. des Verbrauchs beim Pilzwachstum zu ermitteln. Champignons und anderen Pilze benötigen verschiedene Substrateigenschaften und Inhaltsstoffe (z. B. Lignin, Cellulose, Hemicellulose) für ihr Wachstum (Zell- und Myzelbildung) und ggf. für die Ausbildung von Fruchtkörpern. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich Eigenschaften wie z. B. Rohfaser und Kalium im Substrat verändern bzw. verbraucht werden, während sich andere Bestandteile wie z. B. Proteine und N-freie Extraktstoffe in der Abdeckerde anreichern.

Durch die Gefahr der Kontamination werden die Substrate und Abdeckerden in den meisten Betrieben direkt nach der zweiten Zuchtwellen entsorgt. Es konnte festgestellt werden, dass in Substraten und Abdeckerden nach zweiter Welle (Tag 23) noch reichlich Inhaltstoffe und Mikroelemente enthalten sind, die für die weitere Kultivierung der Champignons (Welle 3 und 4) verwendet werden könnten (Tabelle 12).

Tabelle 12: chemische Analyse von Substraten und Abdeckerden vor (Tag 0) und nach Fruktifikation (Tag 23) weißer Champignons (IHD)

Gehalte in der getrockneten Substanz (TS)	Methoden AGROLAB Group	Einheit	Substrat Tag 0 MD 35	Substrat Tag 23 MD 43	Abdeckerde Tag 0 MD 34	Abdeckerde Tag 23 MD 42
Brennwert kalorimetrisch	DIN EN ISO 18125: 2017-08	kJ/kg	4390	4760	2900	4160
Gesamtstickstoff	Berechnung	%	0,6	0,7	0,2	0,4
Wasser (Seesand)	VO(EG) 152/2009, III, A:2009-02	%	68,5	65,7	80,1	74,3
Rohasche	VO(EG) 152/2009, III, M:2009-02	%	8,3	12,0	4,4	6,3
Rohprotein (Nx6,25)	VO(EG) 152/2009, III, C:2009-02	%	3,8	4,4	1,4	2,4
Rohfett, gesamt	VO(EG) 152/2009, III, H, Verfahren B:2009-02	%	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
Rohfaser	VO(EG) 152/2009, III, I:2009-02	%	8,9	5,5	2,8	3,7
ADF (Säure-Detergenzien-Faser)	DIN EN ISO 13906:2008-11	%	18,6	18,7	11,1	14,4
NDF	ISO 16472:2006-04	%	17,5	15,4	10,3	13,3
ADL (Säure-Detergenzien-Lignin)	DIN EN ISO 13906:2008-11	%	6,7	7,2	7,6	9,1
Chrom (Cr)	DIN EN 17053:2018-03 (mod.)	mg/kg	5,02	4,81	1,10	2,35
Molybdän (Mo)	DIN EN 17053:2018-03	mg/kg	0,644	0,818	<0,100	0,150
Nickel (Ni)	DIN EN 17053:2018-03 (mod.)	mg/kg	1,29	1,38	0,32	0,53
Selen (Se)	DIN EN 17053:2018-03	mg/kg	<0,10	0,13	0,10	0,14
Cobalt (Co)	DIN EN 17053:2018-03	mg/kg	0,16	0,23	<0,10	0,15
N-freie Extraktstoffe	Berechnung	%	10,5	12,4	11,3	13,3
Natrium (Na)	DIN EN 15621:2017-10	%	0,07	0,08	<0,01	<0,01
Kalium (K)	DIN EN 15621:2017-10	%	0,72	0,65	0,04	0,09
Magnesium (Mg)	DIN EN 15621:2017-10	%	0,11	0,15	0,07	0,08
Calcium (Ca)	DIN EN 15621:2017-10	%	1,02	1,70	1,49	1,78
Schwefel, gesamt (S)	DIN EN 15621:2017-10	%	0,62	0,80	0,11	0,15
Kupfer (Cu)	DIN EN 15621:2017-10	mg/kg	6,88	8,76	1,92	3,38
Phosphor (P)	DIN EN 15621:2017-10	%	0,14	0,19	0,05	0,08

Weiterhin wurden die ausgewählten Abdeckerden auf Mikroelemente und Schwermetalle sowie andere Schadstoffe untersucht. Die Bestimmung der Schwermetallgehalte der Abdeckerden und des Substrats erfolgte anhand AA EPH-50-26 nach salpetersaurem Mikrowellenaufschluss mittels ICP-OES in Verbindung mit ISO 11885 (E22). Die Gehalte der Lösungen wurden direkt aus der wässrigen Phase bestimmt. Der Gehalt an Quecksilber und Arsen wurde mittels Hydridsystem bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 13: Elementanalyse des geimpften Substrats und von ungeimpften Abdeckerden (IHD)

Elemente	Einheit	Substrat 0, 18 Tage MD 68	Abdeckerde LP, MD 69	Abdeckerde C, torffrei MD 75	Abdeckerde WD1 MD 77	Abdeckerde WD2 MD 78	Abdeckerde KN MD 79
Cd	mg/kg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cr		3,9	3,9	3,5	5,8	5,5	4,7
Cu		38,4	8,3	4,3	1,4	6,6	8,2
Pb		2,0	3,6	2,0	2,6	3,9	2,0
Se		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
As		0,4	1,1	0,1	6,1	9,6	1,4
Hg		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mo		3,2	1,2	0,3	1,7	1,6	0,0
Co		0,4	0,4	0,3	0,4	0,7	0,2
Ni		4,0	1,5	2,2	4,9	4,2	1,6
P	%	0,7	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2
S ax		6,3	0,9	0,1	0,9	1,9	1,3
Ca		5,0	8,5	0,5	4,8	11,9	8,0
K		3,2	0,3	1,7	0,2	0,4	0,3
Mg		0,5	0,4	0,1	0,1	0,3	0,5
Na		0,4	0,4	0,4	0,3	0,6	0,6

Die angegebenen Werte sind Resultate einer Doppelbestimmung. Bei allen untersuchten Abdeckerden wurden die zugelassenen Grenzwerte von Schwermetallen nicht überschritten.

Die Analysenergebnisse der im Rahmen von MykoDeck entwickelten Abdeckerden sind in den nachfolgenden Arbeitspaketen dargestellt. Es wurden die gleichen Analysemethoden wie für die torfhaltigen Abdeckerden verwendet.

HAP 4: Entwicklung verschiedener Rezepturen für Abdeckerde

Aufbauend auf den Ergebnissen aus dem AP 3.3 erfolgte im **AP 4.1** eine Zusammenstellung der gewonnenen Daten in einem Excel-Tool zur Ermittlung der Mengenanteile für die Herstellung der torffreien Abdeckmaterialien. Dabei wurden die Datensätze der Projektpartner in einer Datenbank aggregiert und verknüpft. Das MVP (Minimum Viable Product) des Excel-Tools ist derzeit in der Lage, die Datensätze von bis zu sieben aus einer Liste von derzeit 37 Materialströmen in verschiedenen Volumenanteilen miteinander zu kombinieren. Es werden dabei die zu erwartenden Parameterwerte ausgegeben und mit Benchmark-Daten verglichen. Für einige Eigenschaften wird anstelle von Werten Eignungswahrscheinlichkeiten durch Farbdarstellung ausgegeben.

	Volumenanteil 1	Volumenanteil 2	Volumenanteil 3	Volumenanteil 4	Volumenanteil 5	Volumenanteil 6	Volumenanteil 7	Summenkontrollfeld
	40	20	40					100

	Volumenanteil (g/l)	Salzgehalt (g/l)	pH-Wert	Laufähigkeit Blut (mg/ml)	Wasserhaltvermögen (%)	Wasserabgabe (ml)	pOV	Agglomerationsfähigkeit	N (mg/l)	P (mg/l)	K (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Cl (mg/l)	Schwermetall Cadmium (mg/kg)	Schwermetall Blei (mg/kg)	Risiko konkurrierende Fremdpläne	Risiko nachschmelzbare Stoffe
Mischung	645	4,19	6,9		55	35			183	208	2212	84	277	239				
Benchmark	440	0,92	7,4		86	37			140	120	62	62	189	1				
Abweichung	205	3,27	-0,5	0	-31	-2			43	88	2150	22	88	238				
Wertung																		

Abbildung 23: Screenshot des Excel-Tool MVPs, Ansicht Datenein- und -abgabe (IKTS)

In **AP 4.2** erfolgte unter Nutzung des Excel-Tools die Rezepturentwicklung und Herstellung im Labormaßstab. Die Bewertung der Varianten erfolgt anhand der Wachstums- und Fruktifikationszeit und der Erträge von Referenzpilzen im **AP 4.3**. In diesem Arbeitspaket erfolgte die experimentelle Überprüfung der Komponenten mit den Referenzpilzen. Dazu wurden 40 verschiedenen Mischungen aus einzelnen Komponenten und deren Varianten hergestellt. Diese wurden nach der Sterilisation in den Autoklaven (20 min bei 121 °C und 2 bar Druck) jeweils 10 g in die beimpften mit vier Referenzpilzen 6-Well-Platten überführt (Abbildung 24).



Abbildung 24: Wachstumsversuche mit 40 Mischungen und vier Referenzpilze (IHD)

Als Ergebnis der experimentellen Überprüfung der Komponenten mit den vier Referenzpilzen wurden verschiedene, schnellbewachsende Komponenten als Grundstoffe für die Abdeckerdenvarianten ausgewählt. Die ausgewählten Komponenten und deren Gemische (25 Proben) wurden zudem thermisch-mechanisch behandelt. Diese Proben wurden ebenfalls durch die Wachstumsversuche bewertet. Schließlich wurden unbehandelte und vorbehandelte Proben, auf denen die Referenzpilze das stärkste Wachstum zeigten, in verschiedenen Verhältnissen miteinander kombiniert (Abdeckervarianten) und durch das Wachstumsverhalten der Referenzpilze überprüft. Die Substrate wurden mit den Abdeckerdenvarianten zu den Fruktifikationsversuchen in 100 ml Kisten eingesetzt und durch die Erträge der Referenzpilze bewertet (Abbildung 25).



Abbildung 25: Fruktifikationsversuche in 100 ml Kisten (IHD)

Aufbauend auf den Analyseergebnissen und abgeleitet von den Wachstumsversuchen wurden die Vorzugsvarianten für Rezepturen ermittelt.

Die genaue Zusammensetzung der Rezepturen sowie die Verfahrensentwicklung für die Abdeckerden werden nicht angegeben, da diese auf mögliche schutzrechtliche Absicherungen überprüft werden sollen.

Neben den chemischen und physikalischen Eigenschaften zeigte sich das Mikrobiom als besonders wichtiges Element für die erfolgreiche Produktion von Champignon-Fruchtkörpern. Durch die mitgeführten mikrobiologischen Bewertungen konnten Antagonisten sowie Agonisten im Mikrobiom identifiziert und isoliert werden. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wird ein Spezifisches-Mikroorganismen-Substrat (SMS) entwickelt. Die Agonisten werden zukünftig zwar nur in geringen Mengen ($< 0,1\%$) als SMS den Deckerden zugegeben, haben sich jedoch als unabdingbar für eine verlässliche Fruktifikation und gleichmäßig hohe Erträge erwiesen.

Die ausgewählten Abdeckerdenvarianten wurden zu den Fruktifikationsversuchen in 5 kg Kisten (3 kg Substrat und 2 kg Abdeckerde) eingesetzt und in der IHD-Klimakammer kultiviert. Einblicke in die Kultivierung und Fruktifikation der braunen und weißen Champignons in 5 kg Kisten werden durch die Fotos in Abbildung 26 gegeben.



Kultivierung, 22 °C

Fruktifikation, 15 °C

Abbildung 26: Wachstumsversuche mit braunen und weißen Champignons in 5 kg Kisten (IHD)

Eine besondere Schwierigkeit bestand darin, die Feuchtigkeit der Abdeckerden bei der Kultivierung auch mehrere Tage zu erhalten, um Feiertage und Wochenenden sowohl im Versuchsbetrieb als auch in der Praxis abbilden zu können. So kam es teilweise zur Austrocknung eines Teils der gebildeten Primordien. Um die Oberfläche feucht zu halten, wurden die Kisten mit der Folie abgedeckt, was wiederum die Gefahr der Erstickung der Pilze erhöht, da nicht genügend Frischluft zugeführt werden konnte. Weiterhin wurden die Pilze an den Wochenenden nicht geerntet, was zum Überwachsen der Fruchtkörper führte. Trotz der vorherrschenden Schwierigkeiten waren die ersten Erträge bei einigen torfreien Varianten vergleichbar bzw. höher als mit torfhaltigen Abdeckerden aus der Produktion (Abbildung 27). Allerdings setzte die Fruktifikation ca. fünf bis sechs Tage später als in den Kontrollvarianten ein. Die bereits erzeugten Ergebnisse sind vielversprechend. Die Gesamtbewertung ist zum Zeitpunkt der Berichtslegung nicht abgeschlossen.



Abbildung 27: Fruktifikation der brauen und weißen Champignons auf verschiedenen Abdeckerden (IHD)

Es ist festzustellen, dass bei kleineren Mengen Substrats und Abdeckerde die Fruchtkörperbildung mehr Zeit in Anspruch nimmt. Dieser Zusammenhang ist proportional. In 6-Well-Platten wurden die ersten Fruchtkörper erst nach 68 Tagen gebildet. Bei kleinen Kisten dauert die Fruchtkörperbildung bis zu 48 Tage und bei großen Kisten bis zu 22 Tage (Abbildung 28). Zudem wurde festgestellt, dass parallele Kultivierung von ausgewählten Pilzarten, mit ihren unterschiedlichen Ansprüchen an die einzustellenden Klimabedingungen haben, zu kompliziert ist. Demzufolge wurde zuerst auf die Optimierung der Abdeckerden für braun und weiße Champignons fokussiert.

Nr.	IHD-Mischung Bezeichnung (Substrate behandelt)	Wachstum der Referenzpilze														
		Tintling <i>Coprinus comatus</i> IHD 15-06					Weißer Portobello Wachstum <i>Agaricus bisporus</i> IHD 20-18					Mandelpilz Wachstum <i>Agaricus subrufescens</i> (blazei) 7700-MCUP				
		3 Tage	6 Tage	10 Tage	31 Tage	Tag 68	3 Tage	6 Tage	10 Tage	31 Tage	Tag 68	3 Tage	6 Tage	10 Tage	31 Tage	Tag 68
1	M6	3	2	2	1	2	1	1	1	2	3 (F)	0	1	3	3	3
2	M7	2	3	2	1	2	1	1	3	3	3 (F)	0	1	3	3	3
3	M8	3	3	3	3	2	1	2	3	3	3 (F)	2	3	3	3	3
4	M9	2	3	3	2	2	2	2	3	3	3 (F)	0	2	3	3	3
5	M10	2	3	3	3	2	1	1	3	3	3 (F)	0	3	3	3	3
6	M26	1	1	2	1	0	1	1	2	2	1	0	2	2	1	2
7	M27	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	0	1	1	2	3
8	M28	0	2	3	1	1	0	1	2	3	3	0	1	3	3	3
9	M29	0	1	2	1	1	1	1	2	2	3	0	1	1	2	3
10	M30	1	3	3	1	1	1	1	2	3	3	0	1	2	2	3

Note Wachstum-Bewertung

0 Kein Wachstum

1 Schlechte als Kontrolle

2 Identisch mit Kontrolle

3 Besser als Kontrolle

3 (F) Besser als Kontrolle Abdeckerde Legro MD 82 (Fruchtkörper)

Abbildung 28: Bewertung des Wachstums der Referenzpilze auf ausgewählten Mischungen (IHD)

Im AP 4.4 erfolgten die Laboruntersuchungen zur Reduzierung des Schädlings- und Krankheitsdrucks in der Pilzzucht. Dazu erfolgten verschiedene Versuche mit unbehandelten und mit thermisch behandelten Proben (10 min bei 100 °C und 20 min bei 120 °C). Es wurde festgestellt, dass die schwach thermisch behandelten

Proben ein besseres Wachstum zeigen. Zudem erwies sich die Kultivierung der Referenzpilze auf 6-Well-MEA-Platten mit unbehandelten Proben als unmöglich. Bereits nach einer Woche traten die ersten Kontaminationen durch Fremdkeime auf. Um die Kontamination in der Pilzzucht zu vermeiden, wurde beschlossen, dass die ausgewählten Proben thermisch-mechanisch behandelt werden sollten.

Darüber hinaus wurden Ausgangsmaterialien und die torfreduzierten bzw. torffreien Mischungen in **AP 4.5** auf ihre Lagerstabilität untersucht. Die Materialproben wurden über die Zeiträume drei und sechs Monate im nicht klimatisierten Probenlager des IKTS bzw. in Unterständen der LAV in geschlossenen Gefäßen gelagert. Ein Teil der Proben wurde zudem bei etwa 20 °C im Labor eingelagert, um kein verzerrtes Bild über die Veränderungen bei der Lagerung durch zu kühle Temperaturen zu erhalten. Vor und nach der Lagerung wurden die Eigenschaften der Proben über ein Protokoll zur sensorischen Beurteilung von Böden, Erden, Substraten und Substratausgangsstoffen beschrieben. Einige Proben haben v. a. in der Freilagerung ihre olfaktorischen Eigenschaften verändert, was auf Feuchteschwankungen und unterschiedliche biologische Aktivitäten zurückzuführen ist. Stark aufgefaserter Stoffgemische neigten eher zu Schimmelbildung (Abbildung 29(4)). Bei fachgerechter Lagerung mit entsprechendem Luftaustausch wiesen die MykoDeck-Mischungen gute Haltbarkeiten über den Zeitraum von drei Monaten auf.



Abbildung 29: Beispielfotos für ungekühlte Ausgangsmaterialien und Mischungen bei der Auslagerung nach sechs Monaten
 (1) mechanisch und thermisch behandelte Holzhackschnitzel; (2) mechanisch und thermisch behandeltes Hanfstroh;
 (3+4) Abdeckerde-Mischungen nach unterschiedlichen Auffaserungsbehandlungen (IKTS)

Durch die IHD-Untersuchungen wurde festgestellt, dass thermisch behandelte Mischungen bis zu drei Monate lagerfähig bleiben ohne Schimmelpilze anzuziehen. Allerdings ist festzustellen, dass mit zunehmender Lagerdauer Erträge rückläufig sind und die Gefahr von Krankheiten wächst.

Im **AP 4.6** wurden die ausgewählten Proben mit der Weender-Analyse bzw. mit Hilfe der im AP1.2 entwickelten Methoden chemisch im IHD analysiert. Die jeweiligen Abdeckmaterialien und Torfersatzstoffe wurden kontinuierlich hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung analysiert. Folgende Kennwerte wurden in diesem Zuge bestimmt:

Nährwerte und grundlegende Inhaltsstoffe

- Rohasche, Rohprotein, Rohfaser, pH-Wert
- Elementarzusammensetzung:
- Trockenmasse, Schwefelgehalt, Kohlenstoff-, Stickstoff-, Wasserstoffanalyse

Extraktstoffgehalte

- wässrige Extraktion, Extraktion mit Ethanol
- Bestimmung Tanningehalt in den Extrakten
- Bestimmung Zuckeranteile in den wässrigen Extrakten

Chemische Analysen

- Bestimmung Klason-Lignin und säurelösliches Lignin
- Gravimetrische Hemicellulosebestimmung

- Analyse der Zuckerbestandteile und Berechnung Celluloseanteil
- Mineralstoffe (Na, K, Mg, Ca, P)
- Schwermetalle / Spurenelemente (Cr, Mo, Ni, Se, Co, Cu, Pb, Cd, Hg, As)

Dazu wurden folgende Vorschriften angewandt:

- NREL/TP-510-42618 „Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass“ (2012)
- NREL/TP-510-42619 „Determination of extractives in biomass“ (2008)
- DIN EN ISO 13906 „Futtermittel – Bestimmung des Gehalts an Säure-Detergens-Faser (ADF) und Säure-Detergens-Lignin (ADL)“ (2008)
- DIN EN 17053 „Futtermittel – Probenahme- und Untersuchungsverfahren – Bestimmung von Spurenelementen, Schwermetallen und anderen Elementen in Futtermitteln mittels ICP-MS (Multimethode)“ (2018)
- DIN EN ISO 16472 „Futtermittel – Bestimmung des Amylase-behandelten neutral gereinigten Fasergehalts“ (2006)

Abweichend von den oben beschriebenen Normen wurde zudem die Methode ICP-OES zur Quantifizierung von Schwermetallen und Spurenelementen verwendet. Für die Zuckeranalytik mittels Hochleistungsflüssigchromatographie (HPLC) mussten Einzelsubstanzen kalibriert werden. Ausgewählt wurden:

- Xylose und Arabinose für die Bestimmung der Hemicelluloseanteile
- Cellobiose und Glucose für die Bestimmung der Celluloseanteile

Die in den Extrakten auftretenden Zuckersäuren können mit der vorhandenen Analysetechnik (HPLC-Säule) nicht quantifiziert werden. Ausgewählte Beispiele der chemischen Analyse wurden im zweiten Zwischenbericht vorgestellt.

Um die entwickelten chemischen Methoden im IHD zu standardisieren, erfolgte die chemische Analyse von zwei ausgewählten Proben im Fremdlabor und parallel im IHD. Die Methoden der beiden Labore orientierten sich an den Vorgaben seitens NREL-TAPPI und den Vorschriften der Weender-Analyse. Die Inhaltsstoffe wurden durch die Weender-Futtermittelanalyse in Nährstoffgruppen, die sogenannten "Rohnährstoffe ähnlicher physiologischer bzw. energetischer Gesamtwirkung" eingeteilt. Die aufgeführten Inhaltsstoffe werden bei der Weender-Analyse in der Regel auf die Trockensubstanz (Frischmasse des Futtermittels minus Wasser) bezogen. Die Inhaltsstoffe wie z. B. Trockensubstanz, Rohasche, Rohprotein, Rohfaser und Rohfett werden nach diesem Verfahren analytisch ermittelt. Es wurde dabei festgestellt, dass die Ergebnisse der beiden Labore hinsichtlich der bestimmten Inhaltsstoffe wie z. B. Hemicellulose, Cellulose sowie Lignin stark variabel sind. Die größte Herausforderung ist die Inhomogenität des Materials, teilweise mit Fremdpartikeln (Steinen) versehen, die die Analyseergebnisse stark beeinflussen.

Für die physikalische Bewertung der Ausgangsmaterialien und Substratmischungen wurden am IKTS die innerhalb des Vorhabens etablierten Methoden für die Ermittlung der Trockenrückstände (TR), des organischen Trockenrückstands (oTR), des Wasserhaltevermögens inkl. der Aufzeichnung von Trocknungskurven weiter genutzt. Die Partikelgrößenverteilung (PGV) sowie die Partikelformverteilung für verschiedene Größenfraktionen wurde mit Hilfe verschiedener Geräte (Mastersizer 2000, QICPIC, FibreShape) ermittelt. Die Institutionen IHD und IKTS unterstützen den Partner LAV dabei, ein entsprechendes Qualitätsmanagement unter den Bedingungen der Praxis aufzubauen. Dabei sind neben finanziellen Aspekten auch zeitliche und personelle Anforderungen sowie die Robustheit der Hilfsmittel und Ergebnisse zu beachten.

HAP 5: Up-Scaling Herstellungstechnologie sowie Kultivierungsuntersuchungen

Das Arbeitsziel des HAP 5 ist das Up-Scaling der Herstellungstechnologien der Torfersatzstoffe sowie der Abdeckerden und die Testung der hergestellten Abdeckerden im Rahmen von praxisnahen Kultivierungsuntersuchungen bei Pilzzüchtern.

Im AP 5.1 erfolgt durch die Projektpartner LAV und IKTS die Überführung der im AP 3.2 entwickelten Herstellungsverfahren der Torfersatzstoffe sowie die Mischung der torfreduzierten bzw. torffreien Abdeckerden in den technischen Maßstab (Ziel: 500 bis 1.000 kg). Die Herstellung der Abdeckerden erfolgte auf Basis der in HAP 4 entwickelten Rezepturen. Die chemische, physikalische und biologische Bewertung der Torfersatzstoffe sowie der Abdeckmaterialien erfolgt im Rahmen des AP 4.6.

Im Rahmen des AP5.2 wurden mit den in AP5.1 erzeugten Abdeckerden Kultivierungsuntersuchungen bei unterschiedlichen Praxispartnern vorgenommen. Gleichzeitig wurden IHD-Kultivierungsuntersuchungen unter Laborbedingungen durchgeführt. Ziel dieser Untersuchungen war der Vergleich mit den vorgelagerten Kultivierungsuntersuchungen im Rahmen des HAP4 sowie eine Validierung des im Rahmen von MykoDeck entwickelten Versuchsaufbaus mit Praxisversuchen.

Die Herstellung der Abdeckerden sowie die Kultivierungsuntersuchungen greifen sehr stark ineinander und werden daher im Folgenden für den jeweiligen Betriebsversuch gemeinsam dargestellt. In der folgenden Grafik ist der sehr komplexe Ablauf der Champignon-Produktion dargestellt. Es wird deutlich, dass MykoDeck bis auf die Herstellung des Basissubstrats alle Arbeitsschritte der Champignon-Produktion betrachtet.

Phase 1: Herstellung Basissubstrat

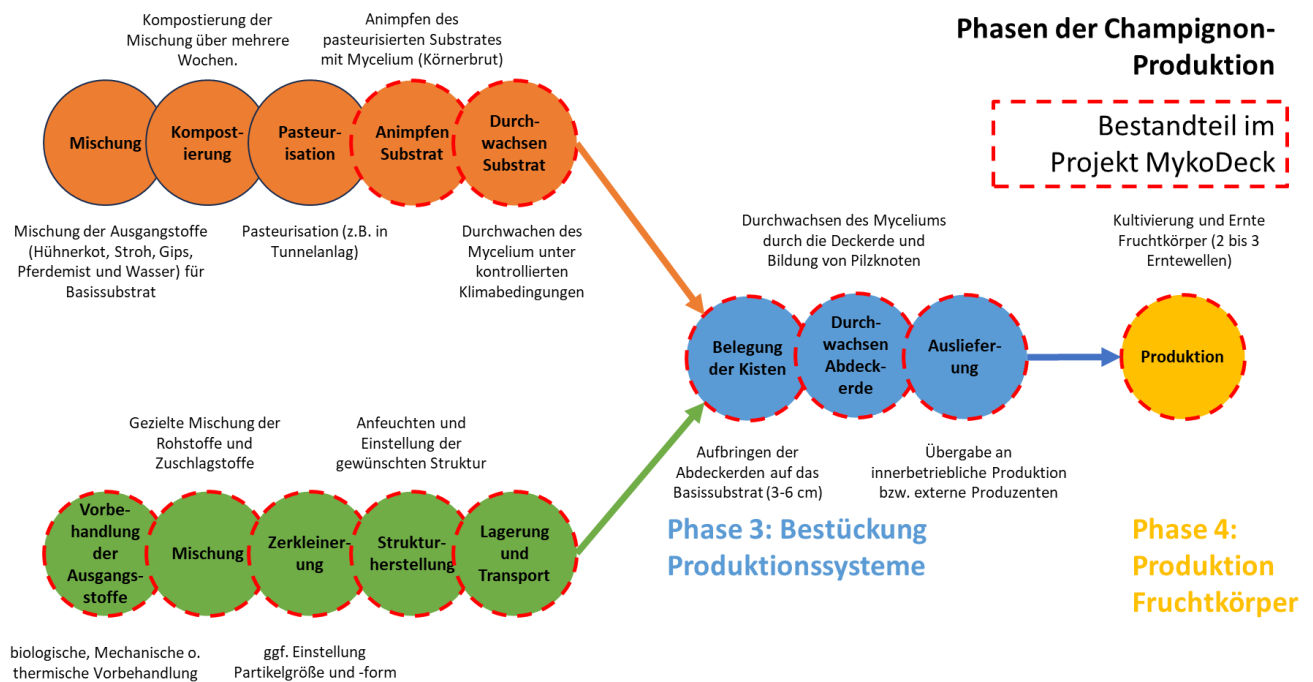


Abbildung 30: Phasen der Champignon-Produktion (IKTS)

Die **Herstellung des Basissubstrats (Phase 1)** umfasst das Mischen von Pferdemist, Stroh, Hühnerkot, Wasser und Gips. Diese Mischung wird anschließend kompostiert, um eine geeignete Wachstums Umgebung für das Myzel zu schaffen. Danach wird das Substrat pasteurisiert, um schädliche Mikroorganismen abzutöten. Schließlich wird es mit Champignon-Myzel beimpft, das durch das Substrat wächst und die Nährstoffe zur Bildung von Fruchtkörpern nutzt.

Die **Herstellung von torfhaltiger Abdeckerde (Phase 2)** für die Champignonzucht beginnt mit der Gewinnung von Torf aus Mooren. Der Torf wird getrocknet, zerkleinert und mit Zusatzstoffen wie Kalk und Dünger gemischt, um die gewünschten Eigenschaften zu erzielen. Anschließend wird die Mischung thermisch behandelt, um Krankheitserreger abzutöten. Die fertige Abdeckerde wird dann an Pilzzuchtbetriebe geliefert, wo sie auf das durchwachsene Substrat aufgebracht wird. Für die Herstellung der torffreien Abdeckerden erfolgt zunächst die

Auswahl und Bewertung der in Fragekommenden organischen Reststoffe (z. B. Stroh, Hanf, Grünschnitt, Gärrest, Holz, abgetragene Pilzsubstrate). Anschließend erfolgt je nach Rohstoff eine biologische (z. B. Kompostierung) und/oder mechanisch-thermische (z. B. Zerkleinerung, Siebung) Vorbehandlung. Je nach Eigenschaften der Ausgangsstoffe bzw. der gewünschten Zielgrößen erfolgt eine Mischung, nochmalige Zerkleinerung sowie die gezielte Erzeugung von Struktureigenschaften. Die Prozesskette zur Herstellung der torfreduzierten und torffreien Abdeckerden wird im Rahmen des AP 5.1 entwickelt und erprobt. Auch diese Abdeckerde kann anschließend an Pilzzuchtbetriebe geliefert werden.

In Phase 3 wird die **Bestückung des Produktionssystems** mit Basissubstrat sowie mit der Abdeckerde realisiert. Im Rahmen des Projektes MykoDeck erfolgten die praxisnahen Betriebsversuche mit Kisten mit einer Produktionsfläche von ca. 2,7 m². Für die Belegung der Kisten gibt es am Markt entsprechende Technologie. Im Rahmen des Projektes wurde das System beim Praxispartner Pilzhof Wallhausen (Abbildung 31) eingesetzt.



Abbildung 31: Belegung der Kisten mit torffreier Abdeckerde im Pilzhof Pilzsubstrate Wallhausen (LAV)

Im Anschluss erfolgte eine Vorkultivierung unter kontrollierten Bedingungen (Temperatur, Bewässerung), damit das Myzel aus dem Basissubstrat die Abdeckerde durchwachsen kann. Innerhalb von 10 bis 14 Tagen ist die Abdeckerde dann im Inneren komplett mit feinen Myzelfäden durchzogen und die Fruchtkörper beginnen zu wachsen. In diesem Stadium erfolgt die Auslieferung der Kisten an die Pilzproduzenten. Hier werden die Kisten bei optimalen Klimabedingungen (CO₂, Temperatur, Luftfeuchte, Licht) je nach Pilzart in speziellen Klimäräumen unter Erfassung der Inkubationszeiten und des Zeitpunktes der Fruchtkörperbildung kultiviert. Auf Grund abweichender Eigenschaften der torffreien Abdeckerden sind auch in dieser Phase entsprechende Maßnahmen zur Versuchsbegleitung und zur Anpassung im Rahmen von MykoDeck erforderlich.

Im Rahmen der Projektlaufzeit MykoDeck konnten insgesamt vier Betriebsversuche bei unterschiedlichen Pilzproduzenten durchgeführt werden. Folgende Tabelle (Tabelle 14) gibt einen Überblick über die durchgeführten Kultivierungsversuche in den Praxisbetrieben.

Tabelle 14: Betriebsversuche MykoDeck

Betriebsversuch	1	2	3	4
Zielstellung Abdeckerde	torfreduzierten Abdeckerde (50 % Torfanteil)	torffreie Abdeckerde	torffreie Abdeckerde	torffreie Abdeckerde
Pilz	braune Champignon	weiße Champignon	braune Champignon	Mandelpilz
Belegung Kisten mit Basissubstrat und Myzel	KW 33/2023 Pilzhof	KW 43/2023 Pilzhof	KW 19/2024 Pilzhof	KW 29/2024 händisch. IHD, IKTS, ReiPiKo
Mischung MykoDeck-Abdeckerden	LAV, IHD, IKTS 15.08.2023	09.-10.11.2023 LAV, IHD, IKTS	21.-22.05.2024 LAV, IHD, IKTS	30.07.2024 LAV, IHD, IKTS
Menge Abdeckerde	ca. 1.900 kg	ca. 1.000 kg		ca. 1.000 kg
Belegung der Kisten mit Abdeckerde	15.08.2023 maschinell, Pilzhof	13.11.2023	23.05.2024	31.07.2024 IHD, ReiPiKo, IKTS
Kultivierung Myzel-Abdeckerde	Pilzhof	Pilzhof	Pilzhof	ReiPiKo
Auslieferung und Start Kultivierung beim Champignon-Produzenten	25.-30.08.2023 4 Praxispartner + ReiPiKo	27.11.2023 ReiPiKo	06.06.2024 ReiPiKo	keine Auslieferung, Kultivierung bei ReiPiKo
Ende Kultivierung	26.09.2023	25.12.2023	21.06.2024	11.12.2024

Aufbauend auf den im Labor getesteten Verfahren zur Vorbehandlung, Herstellung der Mischung sowie zur Erzeugung der gewünschten Struktur erfolgten bei der LAV erste Vorversuche zum Verhalten der unbehandelten und behandelten Rohstoffe. Hierfür wurde hauptsächlich bei der LAV bzw. beim Projektpartner vorhandene Technologien und Verfahren eingesetzt. Für ausgewählte Stoffströme, wie kommunale und private Grünschnitte oder Grasmahd wurde zum Beispiel die Kompostierung als biologische Stufe getestet. Weiterhin wurden auch entsprechend vorkonditionierte Rohstoffe, wie aufgefaserter oder gehäckseltes Holz, entwässerter Gärrest, fraktionierter und zerkleinerter Hanf oder RAL-gütesicherter Kompost für die Herstellung der Mischungen eingesetzt. Im ersten Schritt erfolgte die Herstellung der Mischung händisch (Bottich und Schaufel) bzw. teilweise auch mit der Bagger- oder Radladerschaufel (übliche Mischwerkzeuge bei der Herstellung von Erdmischungen). Nachteil dieser Verfahren war, dass insbesondere die Zuschlagstoffe nicht homogen verteilt wurden. Abweichend zu den Erden- und Substratmischungen der LAV haben die Abdeckerden einen sehr hohen Wasseranteil, was für die Mischtechnik eine Herausforderung darstellt. In vielen Aggregaten kommt es infolgedessen zu Verklebungen und Anhaftungen, welche zu Betriebsstörungen führen.

Im Rahmen eines Technologiescreenings zu Misch- und Homogenisierungsverfahren, wurde der Trommelmischer als favorisiertes Verfahren identifiziert. Diese Technologie ist in jedem Maßstab am Markt verfügbar, ist energieeffizient, störungsanfällig und kann entsprechend der Anforderungen mit entsprechenden Werkzeugen (z. B. Paddel, Abstreifer) ausgerüstet werden. Um eine Skalierung der Laborverfahren von reiner Handarbeit auf eine praxisnahe Technologie zu vereinheitlichen und von den ungenauen praxisnahen Mischansätzen mit Baggerschaufeln wegzukommen und die Trommelmischer zu testen, wurden sowohl vom IHD als auch von der LAV neue Betonmischer angeschafft. Diese wurden umgerüstet und so angepasst, dass torffreie Abdeckerden mit Ihren Größen-, Konsistenz- und Strukturvorgaben produziert werden können. Insbesondere die schnelle und gleichmäßige Wasseraufnahme, konstante Feuchteinstellung und strukturelle Stabilität der Abdeckerden mussten berücksichtigt werden. Hierzu wurden verschiedene Mischversuche mit unterschiedlichen Ausgangsmaterialien und Mischversuche mit den fertigen Abdeckerden durchgeführt. Unsere Ergebnisse konnten vereinheitlicht und sowohl für die Laborversuche (IHD) als auch für die Betriebsversuche (LAV) reproduziert werden. Damit können aktuell Mengen bis 2.000 kg verwendungsfertiger Abdeckerden je Tag unter gleichbleibenden Bedingungen hergestellt werden.



Abbildung 32: Herstellung von Mischungen für torffreie Abdeckerden mit Hilfe eines Trommelmischers (LAV)

Durch diesen ersten Skalierungsschritt ließen sich für den weiteren Ausbau der Produktionskapazitäten wichtige Erkenntnisse gewinnen. Diese sind vor allem die genaue Dosierung der Zuschlagstoffe, Trocken- oder Feuchtmischung und vor allem die Einstellung der optimalen Korngröße und Konsistenz der torffreien Abdeckerden. Eine weitere Skalierung war im laufenden Projekt nicht vorgesehen. Die Betrachtung eines größeren Technikeinsatzes wurde nur theoretisch erörtert.

In den folgenden Absätzen werden die Betriebsversuche 1 bis 4 kurz beschrieben.

Betriebsversuch 1 - braune Champignons auf 50 % torfreduzierten Abdeckerden

Ziel des Betriebsversuch 1 war die Testung von torfreduzierten Abdeckerden unter praxisrelevanten Bedingungen. Ausgehend von den am IHD durchgeführten Laborversuchen wurde eine torffreie Mischung (Rezeptur IHD M2) ausgewählt. Diese Mischung konnte in den Laborergebnissen gute Ergebnisse erzielen. Die Herstellung der Mischung IHD M2 sowie die Vermischung mit Torf zu einer Abdeckerde mit einem 50 %igen Anteil an Torf erfolgte beim Projektpartner LAV. Zur Homogenisierung wurde ein Betonmischer verwendet (Abbildung 33/1). Die so hergestellten 1,9 t der MykoDeck-Mischung MD 50 wurden im Anschluss zum Transferpartner Pilzhof Pilzsubstrat Wallhausen GmbH transportiert, um die Basissubstrate abzudecken (Abbildung 33/6) und durchwachsen zu lassen.



Abbildung 33: Herstellung der Mischung MD 50 (1 und 2) bei LAV und die Bereitstellung der Abdeckerden (3 und 4) und Substrate (5) sowie die Belegung der Kisten mit Substraten (6) beim Transferpartner Pilzhof Pilzsubstrat Wallhausen (IHD)

Insgesamt konnten im August 2023 21 Kisten mit der Mischung MD 50 und 13 Kontrollkisten torfhaltiger Standardabdeckerde PH (je ca. 90 kg Abdeckerde) für die Kultivierung von braunen Champignons belegt werden. Die Kisten wurden beim Transferpartner Pilzhof Pilzsubstrat Wallhausen für 13 Tage kultiviert (Durchwachsen der Abdeckerde mit Pilzmyzel). Sowohl die torfreduzierten (MD50) als auch bei Standardabdeckerde PH wurden gut vom Myzel durchwachsen und es kam auch schon zu einer ersten Bildung von Fruchtkörpern (Abbildung 34).

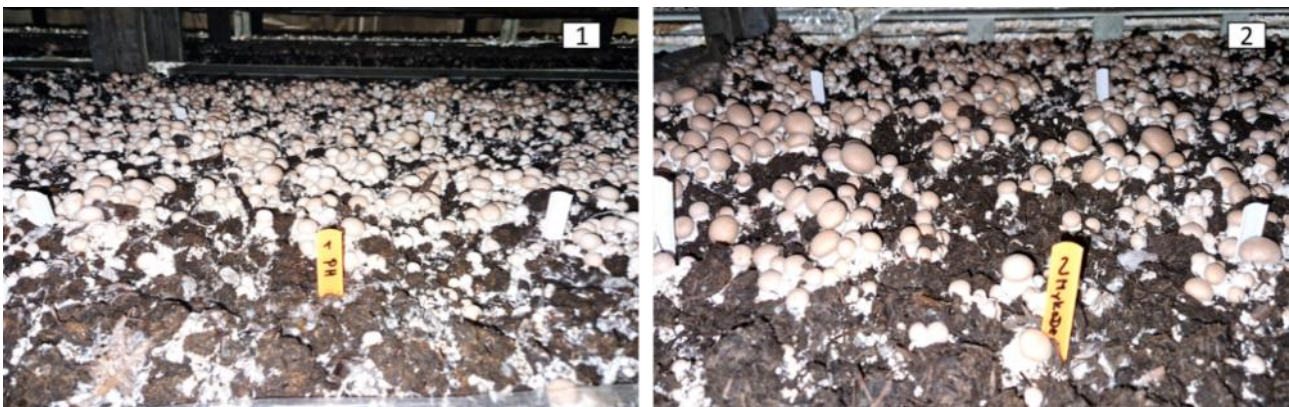


Abbildung 34: Vergleich der Kisten der torfhaltigen Kontrolle PH (1) mit der um 50 % torfreduzierten Mischung MD50 (2) nach 13 Tage Kultivierung beim Transferpartner Pilzhof Pilzsubstrat Wallhausen (Substrathersteller) (IHD)

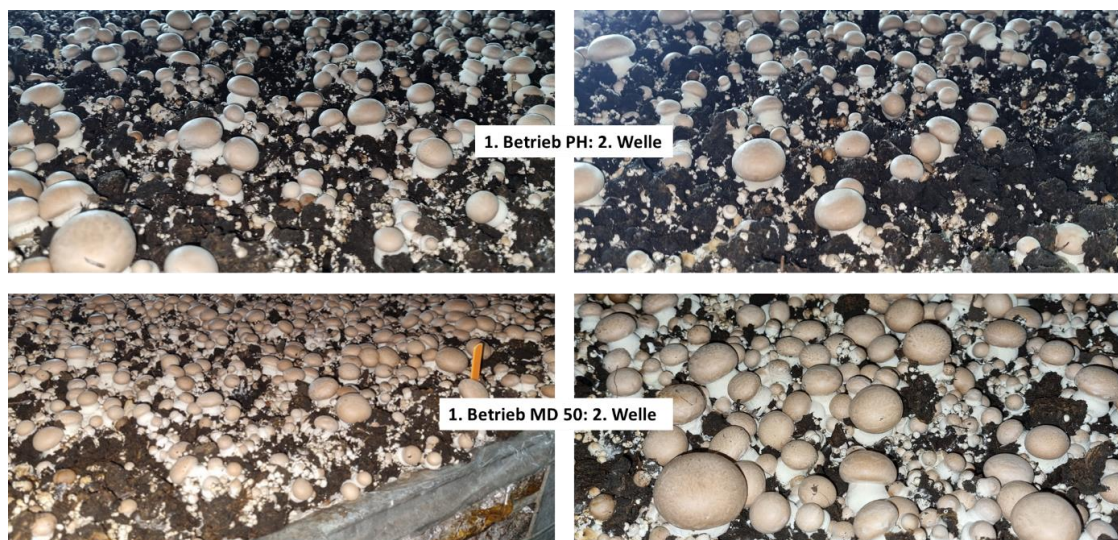
Für die sich anschließende Fruktifikationsphase wurden zwölf Kisten MD 50 und zehn Kisten PH zu vier Transferbetrieben der Pilzhof Pilzsubstrat Wallhausen GmbH transportiert. Neun Kisten (sechs Kisten MD50 und drei PH) wurden zum Referenzbetrieb ReiPiKo Reitzenhainer Pilzkorb GmbH (assoziiierter Projektpartner) transportiert. Die Fruktifizierungsphase bei ReiPiKo konnte durch die Projektpartner sehr intensiv engmaschig begleitet werden. Die Ergebnisse der Betriebsversuche in Erträgen pro m² mit braunen Champignons sind in der folgenden Tabelle (Tabelle 15) dargestellt. Die Erträge der torfreduzierten (MD50) sowie der Standard-Abdeckerde

sind vergleichbar. Somit konnte nachgewiesen werden, dass eine Reduzierung des Torfanteils mit der in MykoDeck entwickelten Mischung M2 möglich ist.

Tabelle 15: Ergebnisse des ersten Betriebsversuchs mit braunen Champignons in fünf Praxisbetrieben (IHD)

Betrieb	Abdeckerden	Anzahl Kisten	Datum	mittlere Erträge nach Erntewellen [kg/m ²]			Σ-Ertrag [kg/m ²]
				1. Welle	2. Welle	3. Welle	
1	MD 50	3	25.05.2023	12,47	7,28	4,074	23,82
	Kontrolle PH	3	25.08.2023	13,24	11,08	5,09	29,41
2	MD 50	3	28.08.2023	16,68	6,85	1,40	24,93
	Kontrolle PH	3	29.08.2023	18,40	n.a.	n.a.	24,30
3	MD 50	3	28.08.2023	13,38	12,40	3,98	29,76
	Kontrolle PH	3	28.08.2023	12,24	11,01	3,40	26,65
4	MD 50	5	29.08.2023	14,79	6,40	2,96	24,15
	Kontrolle PH	2	29.08.2023	15,01	6,85	3,11	24,97
5	M D 50	6	30.08.2023	19,13	12,00	2,38	33,52
	Kontrolle PH	3	30.08.2023	14,58	15,03	3,10	32,66

Nachfolgend sind die ausgewählten Fotos der zweiten Welle dargestellt (Abbildung 35, Abbildung 36). Von Betrieb Nr. 4 wurden keine Fotos bereitgestellt.



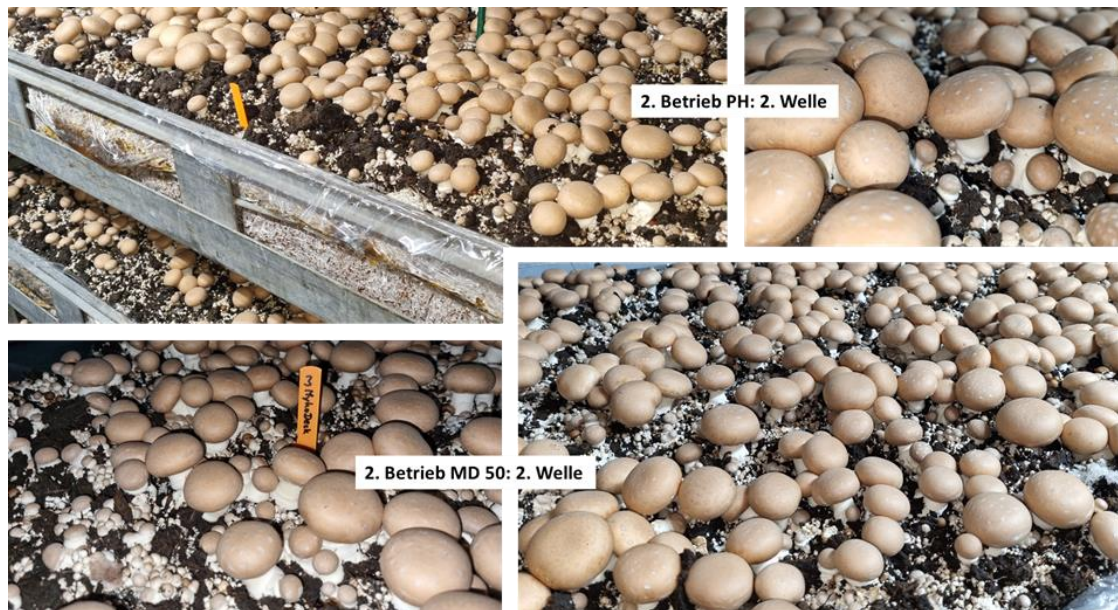
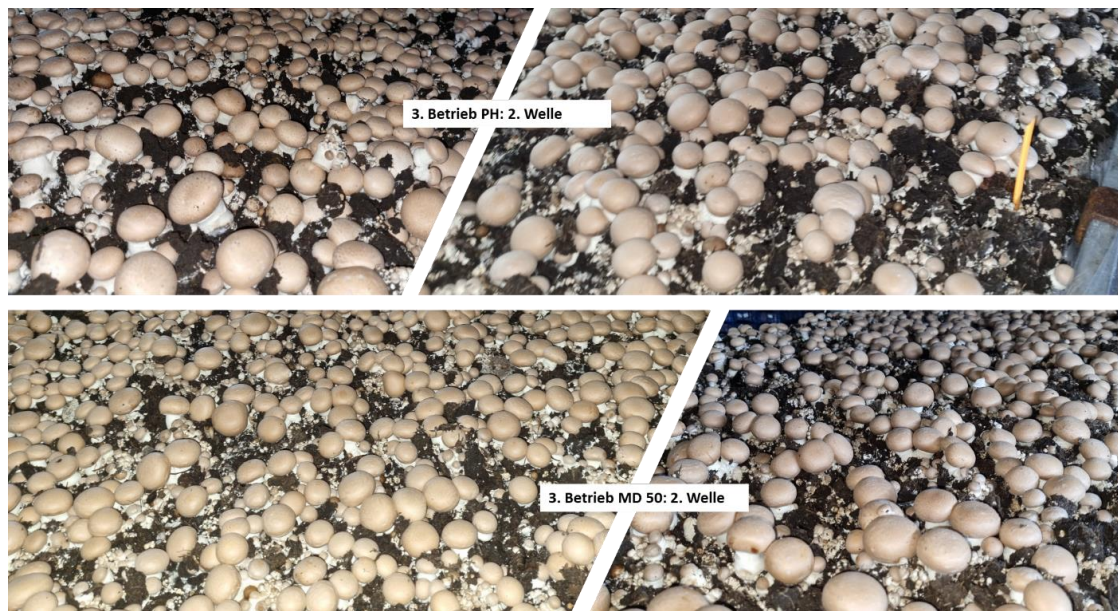


Abbildung 35: visueller Vergleich der Fruktifikation von Champignon auf der torfhaltigen Kontroll-Abdeckerde (PH) und der Mischung MD 50 (50 % torfreduziert) während der 2. Welle im 1. und 2. Betrieb (IHD)



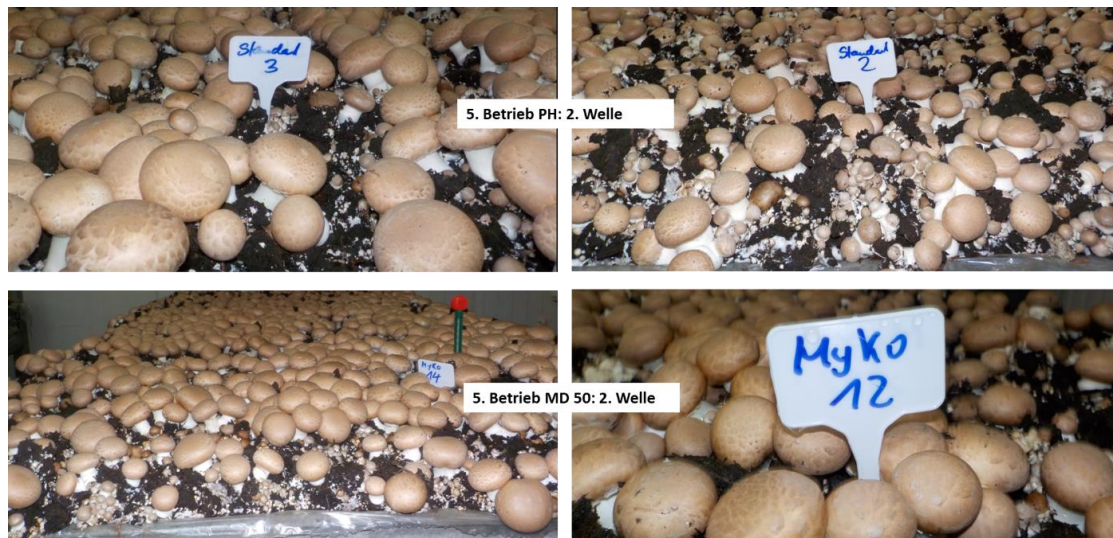


Abbildung 36: visueller Vergleich der Fruktifikation von Champignon auf der torfhaltigen Kontroll-Abdeckerde (PH) und der Mischung MD 50 (50 % torf reduziert) während der 2. Welle bei den Betrieben 3 und 5 (IHD)

Beim Transferpartner ReiPiKo konnten sowohl bei den torfhaltigen Standard-Abdeckerden als auch bei den torf reduzierten des MykoDeck-Projektes (MD50) deutlich höhere Erträge erzielt werden. Durch die enge Überwachung des Wachstums konnte sowohl die Klimatisierung als auch die Bewässerung an die Bedürfnisse der Fruchtkörperbildung angepasst werden. Dies verdeutlicht, dass bei einer weiteren Reduzierung des Torfanteils insbesondere die Bewässerung angepasst werden muss. Bei den Pilzbetrieben 1 bis 4 erfolgte die Prozesssteuerung nach vorgegebenen Mustern.

Resümee der Praxisbetrieb zum Einsatz der torf reduzierten Abdeckerden MD50

- Betrieb 1: Bei den MD50 Kisten lässt sich eine gute Stückzahl und Verteilung der Fruchtkörper auf dem Beet feststellen. Die Fruchtkörper sind gesund und schwer, somit kann von einer guten Qualität ausgegangen werden. Die erste Welle zeigte ebenfalls eine exzellente Qualität, und der Ertrag ähnelt dem der PH-Kisten.
- Betrieb 2: Bei den MD50 Kisten ist die Stückzahl und Verteilung sehr gut, die Qualität der Pilze ist stark und schwer. Bei der ersten Welle gab es in Qualität und Ertrag kaum Unterschiede zu den PH-Kisten.
- Betrieb 3: Bei den MD50 Kisten sieht man deutlich, dass die Pilze eine gute Qualität aufweisen. Die Stückzahl und Verteilung sind zufriedenstellend. Die erste Welle wies hier keine nennenswerten Unterschiede im Vergleich zu den PH-Kisten auf. Bei den MD50 war die Erde jedoch sehr trocken, sodass nachgegossen werden musste. Die Pilze waren schön und kräftig; es wurde ein Tag länger geerntet, und es traten keine Krankheiten auf. Empfehlung: Für braune Pilze 100 % möglich, für weiße gibt es noch offene Fragen (braune Pilze können immer nachgegossen werden).
- Betrieb 4: Die MD50 Abdeckerde trocknet im Vergleich zur PH-Erde schneller aus, jedoch gibt es keinen Unterschied in der Qualität.
- Betrieb 5: In der ersten Welle waren zu viele Pilze vorhanden, es wurde doppelt gewässert, jedoch kein zusätzliches Wasser hinzugefügt. Nach der zweiten Welle traten vereinzelt fremde Pilze (Tintlinge) auf. In Bezug auf Qualität und Lagerung der Pilze gibt es keinen Unterschied; diese sind jedoch etwas schwerer und aromatischer als bei den Kontrolle PH.

Begleitende Laborversuche zum 1. Betriebsversuch

Parallel zum ersten Betriebsversuch erfolgten am IHD weitere Laborversuche (16.08. bis 13.10.2023) mit der Mischung MD50 sowie der Standardabdeckerde PH aus dem 1. Betriebsversuch. Ziel der Laborversuche war

es, ein besseres Verständnis über das Verhalten hinsichtlich Wasseraufnahme und -speicherung, Myzelwachstum sowie Fruktifizierung zu erlangen. Weiterhin konnten im Rahmen der Laborversuche die Klimabedingungen besser eingestellt und dokumentiert werden. Die Erträge in kg/m² der 1. bis 4. Erntewelle sind in der Tabelle 16 zusammengefasst dargestellt. Ausgewählten Bilder zur Dokumentation der IHD-Versuche sind in Abbildung 37 dargestellt.

Tabelle 16: Ergebnisse der begleitenden Laborversuche zum 1. Betriebsversuch mit brauen Champignons vom 16.08. bis 13.10.2023 (IHD)

Kisten	Mischung	1. Welle	2. Welle	Σ Ertrag nach zwei Wellen		3. Welle	4. Welle	Σ Ertrag nach vier Wellen		Mittelwert	Entsorgung
Nr.	Abdeckerde	[g]	[g]	[kg]	[kg / m ²]	[g]	[g]	[kg]	[kg / m ²]	[kg / m ²]	Datum
1	PH	1.496	250	1,746	13,43	153	221	2,120	16,31	17,95	30.09.2023
2	PH	1.733	129	1,862	14,32	188	555	2,605	20,04		09.10.2023
3	PH	1.617	142	1,759	13,53	211	307	2,277	17,51		13.10.2023
4	MD50	1.560	394	1,954	15,03	637	542	3,133	24,10	20,38	13.10.2023
5	MD50	1.736	316	2,052	15,78	344	250	2,646	20,35		02.10.2023
6	MD50	1.607	204	1,811	13,93	694	179	2,684	20,65		04.10.2023
7	MD50	1.781	276	2,057	15,82	177	294	2,528	19,44		09.10.2023
8	MD50	1.984	374	2,358	18,14	200	395	2,953	22,72		13.10.2023
9	MD50	1.005	304	1,309	10,07	416	228	1,953	15,02		13.10.2023



Abbildung 37: visueller Vergleich der Fruktifikation von Champignon auf der torfhaltigen Kontroll-Abdeckerde (PH) und der Mischung MD 50 (50 % torf reduziert) in IHD-Laborversuchen (IHD)

Die Ergebnisse zeigen, dass drei von fünf Betrieben sowie das IHD mit der MD50 Mischung (50 % torffrei) höhere Erträge erzielen als mit kommerzielle Abdeckerde PH. Alle Betriebe berichteten jedoch über ein schnelleres Austrocknen der torf reduzierten Mischung MD und einem zusätzlichen Gießaufwand. Bei der MD50 Mischung wurde eine Verhärtung der obersten Schicht während der ersten Welle und damit eine geringere Wasseraufnahme beobachtet. Dies führte bei Verwendung der torf reduzierten Mischungen MD50 zu Clusterbildung (Abbildung 37 MD50/6) und ungleichmäßiger Fruchtkörperbildung.

Darüber hinaus wurden in der zweiten Welle sowohl in den Laboruntersuchungen als auch im Referenzbetrieb Fremdpilze der Gattung *Coprinus* sp. (Tintling) festgestellt. Während der dritten Welle wurde der Pilz *Trichoderma* sp. als Verursacher der „Grünschimmelkrankheit“ in Abdeckerden nachgewiesen. Beispiele von beiden Fremdpilzen sind in Abbildung 38 dargestellt.



Abbildung 38: Fremdpilze im Rahmen des ersten Betriebsversuchs (IHD)

Betriebsversuch 2 - weiße Champignons auf torffreien Abdeckerden

Aufbauend auf den ersten Versuchen in Praxisbetrieben und weiteren Laborergebnissen wurde vom 30.11. bis zum 22.12.2023 ein **zweiter Betriebsversuch** mit der Zielstellung torffreie Abdeckerden mit weißen Champignons unter Praxisbedingungen zu testen, durchgeführt. Für diesen Versuch wurden bei der LAV jeweils ca. 500 kg pro Mischung hergestellt. Mit dem zur Verfügung gestellten Material konnte der Transferpartner Pilzhof neun Kisten belegen. Als Kontrolle wurden zusätzlich drei Kisten mit der Standardabdeckerde PH (100 % Torf) belegt. Nach zwölf Tagen Vorkultivierung wurden die Kisten zur Fruktifikation an den Referenzbetrieb ReiPiKo geliefert. Die Erträge des zweiten Betriebsversuches sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 17: während des zweiten Betriebsversuchs ermittelte Champignonerträge [kg/m²] im Referenzbetrieb ReiPiKo (IHD)

Mischung	M1 (1)	M1 (2)	M1 (3)	M1 (4)	M2 (1)	M2 (2)	M2 (3)	U1	U2	U3 (Rest)	PH1	PH2	PH3
Torf	100 % torffrei				100 % torffrei			Rest gemischt			Standardabdeckerde 100 % Torf		
Kiste	10	11	12	13	7	8	9	4	5	6	1	2	3
1. Welle	9,07	12,67	12,59	10,33	15,26	12,85	15,67	15,19	19,26	13,59	14,04	16,89	16,77
2. Welle	13,48	13,07	13,52	10,52	14,00	10,67	15,19	11,22	14,44	18,44	13,44	14,04	11,74
3. Welle	3,22	6,07	0,85	4,22	4,59	4,52	3,63	0,00	0,56	2,04	0,00	0,30	0,56
Σ Ertrag [kg/m²]	25,78	31,81	26,96	25,07	33,85	28,04	34,48	26,41	34,26	34,07	27,48	31,22	29,07

Im Ergebnis des zweiten Betriebsversuchs mit torffreier Abdeckerde und weißen Champignons konnten vergleichbare bzw. etwas höhere Erträge erzielt werden. Insbesondere in der dritten Welle konnten mit der torffreien Abdeckerde deutlich höhere Erträge erreicht werden. In der aktuellen Praxis erfolgt die Ernte nur in Welle 1 und 2. Anschließend wird der Inhalt der Kisten entsorgt und die Kultivierungsräume werden mit neuen Kisten bestückt.

Obwohl M2 deutlich feuchter war, traten bei analoger Bewässerung wie bei M1 braune Flecken an den Stielen auf. Erst als die Gießmenge ab der zweiten Welle reduziert wurde, verringerte sich dieses Problem.



drei PH-Kisten, 1. Welle



vier M1 Kisten, 1. Welle



drei M2 Kisten, 1. Welle

Abbildung 39: Vergleich der Kisten mit der torfhaltige Kontrolle PH und mit den 100 % torffreien Mischung M1 und M2 während der ersten Welle im Referenzbetrieb ReiPiKo (IHD)

Im Vergleich zu torfhaltigen Abdeckerden sollten die torffreien Mischungen M1 und M2 mit geringer Wasserspeicherkapazität intensiv und regelmäßig bewässert werden (Erkenntnis aus dem ersten Betriebsversuch sowie der Laborversuche IHD und den Untersuchungen zur Wasserhaltekapazität). Während der Bildung der Primordien (Fruchtkörper im Frühstadium) führte die Zugabe von Wasser zur Verzögerung der Fruktifikation und Reduzierung der Erträge durch Absterben der kleinen Pilze. Zudem stieg die Anfälligkeit der Pilze für verschiedene Krankheiten. Bei Champignons können z.B. verschiedene Arten von *Pseudomonas*-Bakterien zu gelben Flecken führen. In den torfhaltigen Abdeckerden wurden *Pseudomonas*-Arten wie z. B. *P. fluorescens*, *P. costantinii* und *P. gingeri* oft identifiziert. Diese Bakterien können die Kulturflächen infizieren und Fleckensymptome verursachen. Die infizierten Pilze sind durch gelbe bis braune Flecken auf den Pilzkappen gekennzeichnet, was zu erheblichen Qualitätsverlusten führen kann. *Pseudomonas gingeri* verursacht beispielsweise die Ingwerfleckenkrankheit. Die *Pseudomonas sp.* können sich in feuchten Umgebungen, insbesondere nach der zweiten Welle, gut vermehren.

Die intensive Bewässerung, vor allem in der ersten Welle der weißen Champignons, führte zum Auftreten von der Pilzkrankheit „Grünschimmel“, die durch die *Trichoderma sp.* verursacht wird. Die Gattung *Trichoderma* setzt sich aus verschiedenen Arten zusammen, die genetisch sehr identisch und schwer zu unterscheiden sind. Schadpilze wie *T. aggressivum*, *T. longibrachiatum* und *T. harzianum* können aus dem Pilzsubstrat in die Abdeckerde gelangen und so die Pilze infizieren. Interessanterweise wurden die Krankheiten immer in torfhaltigen Abdeckerden zuerst festgestellt. Die Sporen von Grünschimmel und *Pseudomonas sp.* wurden über die Luft oder den Vektor Menschen auf torffreie Mischungen übertragen, da die Kisten alle in einem Raum kultiviert wurden. Demzufolge sollten alle potenziellen Infektionsquellen genau kontrolliert werden.

Anderes verhielt es sich bei den Tintling-Pilzen *Coprinus* sp., welche in der zweiten Welle in den torffreien Mischungen M1 und M2 nachgewiesen werden konnten.

Zudem wurde beobachtet, dass in torffreien Mischungen eher feines Myzel gebildet wird. Dies hat zur Folge, dass die Oberflächenschicht während der ersten Welle hart wird und somit eine geringere Wasseraufnahmekapazität aufweist. Das bei Bewässerung stehenbleibende Wasser verdunstet sehr langsam, was sich positiv auf die Etablierung von Krankheiten auswirkt und zu Qualitätsbeeinträchtigung der Fruchtkörper führen kann.

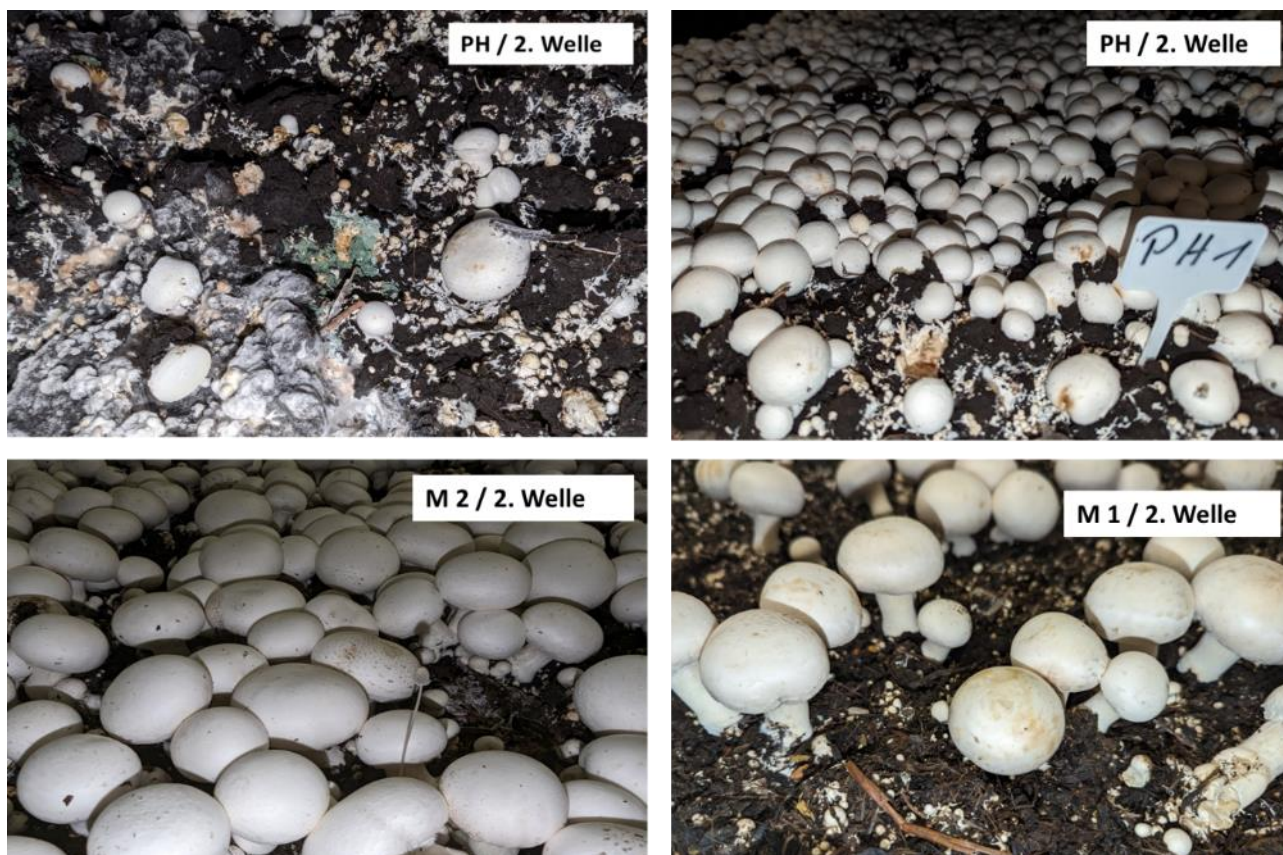


Abbildung 40: Pilzkrankheiten im Rahmen des zweiten Betriebsversuchs (Fremdpilzen wie z. B. Tintling (unten links); gelbe Flecken bei den Fruchtkörpern durch Bakterien (unten rechts) (IHD)

Resümee ReiPiKo zum Einsatz der torffreien Abdeckerden M1 und M2

Bei den Erträgen der ersten Welle zeigten die Kontroll- und Übergangskisten deutliche Vorteile, was vermutlich darauf zurückzuführen ist, dass durch das Gießen ein Teil der Pilze „vergossen“ wurde. Die Ernte wurde aufgrund des Bedarfs in der Weihnachtszeit eher in Form von kleinen bis mittleren Pilzen durchgeführt. Es wäre jedoch für alle Kisten ein Ertrag von 10 % mehr möglich gewesen. Da die Ernte unter den gleichen Bedingungen für alle Kisten erfolgte, bleibt das Ergebnis vergleichbar. Während der gesamten Ernte traten in den Versuchskisten (Varianten M1 und M2) keine offenen Pilze im Vergleich zu den Kontrollkisten (PH).

In den Versuchskisten war ein hoher Anteil an hohlen Stielen zu verzeichnen, teilweise bis in den Kopf, obwohl diese Pilze schwerer waren als die der Kontrollkisten. Der Anteil an hohlen Pilzen war in den Kisten der Variante M2 höher als in M1. In allen Versuchskisten waren Tintlinge vorhanden, jedoch weniger als bei den braunen, möglicherweise aufgrund der geringeren Temperatur. Die Anzahl der Tintlinge nahm von Welle zu Welle zu.

Die Pilze in den Versuchskisten waren deutlich härter, auch nach längerer Lagerung, was auf einen geringeren Wasseranteil hindeuten könnte. Die Farbe der Versuchspilze war in der ersten Welle deutlich grauer, was auf das tägliche Gießen zurückzuführen ist. In der zweiten Welle waren die Pilze weißer, jedoch nicht so weiß wie

die der Kontrollkisten. Zu Beginn des Zyklus hatte das Wasser Schwierigkeiten, in die Abdeckerde einzudringen, weshalb oft geringe Mengen gegossen werden mussten. Wenn Wasser stehen bleibt, etwa durch Wasserdurchbruch durch defekte Folie der oberen Kisten, kann dies zu bleibenden Schäden führen. An diesen Stellen wuchsen auch in den folgenden Wellen keine Pilze.

Die Kontrollkisten zeigten bereits ab der ersten Welle gelbe Flecken, und in der zweiten Welle wiesen die Pilze am Stiel Krankheiten auf. Bereits gegen Ende der zweiten Welle war Molle bei den Kontrollkisten sichtbar, während von den Versuchskisten zu diesem Zeitpunkt kein Befall zu erkennen war. Am Ende der zweiten Welle lagen die Versuchskisten (mit einem Abstand von drei bis fünf Tagen) zeitlich hinter Kiste M2/1, während die nächste Kiste zu den Kontrollkisten gehörte (10. Dezember 2023). Ab dem 16. Dezember 2023 trat auch Molle in den Versuchskisten auf, häufig verursacht durch die in den Beeten verbliebene Biomasse als Nährstoff. Insbesondere bei den Kisten der Variante M2 blieb sehr viel Biomasse stehen, wahrscheinlich weil diese durch das Gießen nicht weiterwachsen. In der zweiten Welle bei der Charge M2 entstanden fortlaufend neue Fruchtkörper ohne Wellenwachstum. Später waren neben vielen Mollenflecken auch erste Boviste auf den Kontrollkisten zu sehen. Die Entsorgung der Kontrollkisten sowie der Übergangskisten fand am 19. Dezember 2023 statt, während die Kisten M2 und M1 am 25. Dezember 2023 entsorgt wurden. Zum Zeitpunkt der Entsorgung wiesen alle Kisten Molle auf, jedoch hätten die Kisten M1 und M2 trotz des Befalls möglicherweise noch eine weitere Ernte liefern können.

Zusammenfassen kann man sagen, dass entgegen der Erwartung die Zucht weißer Champignons auf der alternativen Abdeckerde möglich ist. Die torffreien Versuchskisten ermöglichten eine Ernte der dritten Welle, während die Kontrollkisten diese Möglichkeit nicht boten.

Begleitende Laborversuche zum 2. Betriebsversuch

Parallel erfolgten wieder begleitende Laborversuche mit der Kontrollerde (PH, 100 % Torf) sowie den beiden torffreien Mischungen M1 und M2 am IHD (Abbildung 41). Die Ergebnisse sind in Tabelle 18 zusammengefasst.



Abbildung 41: Laborversuche mit weißen Champignons auf Abdeckerden M1 und M2 ohne Torf (IHD)

Tabelle 18: IHD-Ergebnisse des Laborversuchs mit weißen Champignons vom 15.11.23 bis 22.12.23 (IHD)

Kisten	Mischung	1. Welle	2. Welle	Σ Ertrag nach 2. Wellen		Mittelwert	3. Welle	Σ Ertrag nach 3. bzw. 4. Wellen		Mittelwert
Nr.	Beschreibung	[g]	[g]	[kg]	[kg / m ²]	[kg / m ²]	[g]	[kg]	[kg / m ²]	[kg / m ²]
1	PH	2.084	1.697	3,781	29,08	25,6	106	3,887	29,90	26,94
2	PH	2.140	656	2,796	21,51		272	3,068	23,60	
3	PH	1.715	1.713	3,428	26,37		123	3,551	27,32	
7	M1	2.072	1.066	3,138	24,14	24,2	530	3,668	28,22	28,88
8	M1	2.136	726	2,862	22,02		942	3,804	29,26	
9	M1	2.282	1.166	3,448	26,52		345	3,793	29,18	
10	M2	2.368	1.290	3,658	28,14	27,5	210	3,868	29,75	29,97
11	M2	2.260	1.201	3,461	26,60		454	3,915	30,10	
12	M2	2.469	1.141	3,610	27,80		297	3,907	30,05	

Den IHD-Ergebnissen zufolge weisen die Erträge der beiden 100 % torffreien Rezepturen M1 und M2 im Vergleich zur Kontrollerde höhere Werte auf.

Die Pilzkrankheiten in den Laborversuchen waren identisch mit denen im Referenzbetrieb, sie sind in Abbildung 40 dargestellt. Es wurde festgestellt, dass die Pilzkrankheiten von der Abdeckung abhängig sind und sich zwischen den verschiedenen Rezepturen unterscheiden.

Es ist bekannt, dass Pilze Schwermetalle in ihrem Myzel und damit auch in den Fruchtkörpern anreichern. Das Ausmaß der Anreicherung variiert zwischen verschiedenen Pilzarten. Die Schwermetalle werden hauptsächlich aus dem Substrat und der Abdeckerde absorbiert. Für Kulturpilze und Champignons sind in der Verordnung zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln (EG 1881 2006) Höchstgehalte für Blei und Cadmium festgelegt. Es gilt ein Höchstwert von 0,2 mg/kg Cadmium und 0,3mg/kg Blei. Um diesen Vorgaben gerecht werden zu können, wurden die Fruchtkörper der weißen Pilze aus dem 2. Betriebsversuch chemisch analysiert. Die Ergebnisse der chemischen Analyse der Fruchtkörper, die auf verschiedenen Abdeckerden kultiviert wurden, sind in Tabelle 19 aufgeführt. In keiner der untersuchten Proben wurden Belastungen oder Rückstände von Schwermetallen festgestellt.

Tabelle 19: chemische Analyse der Fruchtkörper von weißen Champignons nach 2. Welle vom zweiten Betriebsversuch (IHD)

analysierte Parameter	Einheit	Probe	Fruchtkörper		
	%	Methode	PH	M1	M2
Gesamtstickstoff	%	Berechnung	0,4	0,4	0,4
Wasser (Seesand)	%	VO(EG) 152/2009, III, A : 2009-01	94,8	94,5	95,0
Rohasche	%	VO(EG) 152/2009, III, M : 2009-01	1,0	1,1	0,9
Rohprotein (Nx6,25)	%	VO(EG) 152/2009, III, C : 2009-01	2,7	2,7	2,2
Rohfett, gesamt	%	VO(EG) 152/2009, III, B : 2009-01	<1,0	<1,0	<1,0
Rohfaser	%	VO(EG) 152/2009, III, I : 2009-01	0,7	0,6	0,6
ADF (Säure-Detergentien-Faser)	%	DIN EN ISO 13906 : 2008-11	<1,0	<1,0	<1,0
NDF	%	ISO 16472 : 2006-04	1,71	<1,50	1,60
ADL (Säure-Detergentien-Lignin)	%	DIN EN ISO 13906 : 2008-11	<1,5	<1,5	<1,5
Chrom (Cr)	mg/kg	DIN EN 17053 : 2018-03 (mod.)	<0,10	<0,10	<0,10
Molybdän (Mo)	mg/kg	DIN EN 17053 : 2018-03	<0,100	<0,100	<0,100
Nickel (Ni)	mg/kg	DIN EN 17053 : 2018-03 (mod.)	<0,20	<0,20	<0,20
Selen (Se)	mg/kg	DIN EN 17053 : 2018-03	0,15	0,15	0,12
Cobalt (Co)	mg/kg	DIN EN 17053 : 2018-03	<0,10	<0,10	<0,10
N-freie Extraktstoffe	%	Berechnung	0,8	1,1	1,3
Natrium (Na)	%	DIN EN 15621 : 2017-10	<0,01	<0,01	<0,01
Kalium (K)	%	DIN EN 15621 : 2017-10	0,37	0,35	0,33
Magnesium (Mg)	%	DIN EN 15621 : 2017-10	0,01	<0,01	<0,01
Calcium (Ca)	%	DIN EN 15621 : 2017-10	<0,01	<0,01	<0,01
Schwefel, gesamt (S)	%	DIN EN 15621 : 2017-10	<0,10	<0,10	<0,10
Kupfer (Cu)	mg/kg	DIN EN 15621 : 2017-10	2,53	3,22	2,68
Eisen (Fe)	mg/kg	DIN EN 15621 : 2017-10	<5,00	<5,00	<5,00
Phosphor (P)	%	DIN EN 15621 : 2017-10	0,10	0,09	0,08
Blei (Pb)	mg/kg	DIN EN 17053 : 2018-03	<0,10	<0,10	<0,10
Cadmium (Cd)	mg/kg	DIN EN 17053 : 2018-03	<0,01	<0,01	<0,01
Quecksilber (Hg)	mg/kg	DIN EN 16277 : 2012-09 (mod.)	<0,02	<0,02	<0,02
Arsen (As)	mg/kg	DIN EN 17053 : 2018-03	<0,10	<0,10	<0,10

Die Ergebnisse der Betriebsversuche im Bereich der Erträge sowie der auftretenden Schadensbildern konnten wieder sehr gut mit den Laboruntersuchen am IHD nachgestellt werden. Auch in den Laborversuchen konnten vergleichbare Erträge über drei Wellen mit der kommerziellen Abdeckerde PH erzielt werden. Auch die in den Betriebsversuchen festgestellten Schadensbilder traten in den Laborversuchen auf.

Die geringere Wasserspeicherkapazität der torffreien Mischungen erforderte während der Kultivierung eine doppelt so häufige Bewässerung bis zur ersten Erntewelle. Dies führte zu einer Verzögerung von etwa zwei Tagen bei der Ernte und begünstigte das Auftreten von Pilzkrankheiten. Die Champignons aus der Mischung M1 wiesen eine leicht rosafarbene Färbung auf, was wahrscheinlich auf den erhöhten Eisengehalt zurückzuführen ist. Obwohl die chemische Analyse keinen signifikanten Unterschied im Eisengehalt zwischen den unterschiedlichen Abdeckern ergab, wurden die Erträge nach der ersten Welle nicht weiter untersucht. Es ist bereits bekannt, dass weiße Champignons im Vergleich zu braunen anfälliger für Pilzkrankheiten sind. Die Ergebnisse dieser Versuche mit verschiedenen Abdeckern verdeutlichen jedoch, dass die Rezeptur der Abdeckerde entscheidend für die Anfälligkeit gegenüber spezifischen Pilzkrankheiten ist.

Im Ergebnis des dritten Betriebsversuch zeigte sich, dass vor allem die Wasseraufnahmefähigkeit und -speicherung der torffreien Abdeckerden verbessert werden muss. Dies kann durch eine Anpassung der Komponenten sowie einen gezielten Aufschluss einzelner Komponenten oder der gesamten Mischung erreicht werden. Im Anschluss an den 2. Betriebsversuch wurden daher entsprechende Untersuchungen durchgeführt.

Betriebsversuch 3 - braune Champignons auf torffreien Abdeckerden

Ziel des dritten Betriebsversuchs war die Testung einer hinsichtlich Wasseraufnahme und -speicherung optimierten torffreien Abdeckerde. Weiterhin sollte auch der Effekt einer thermisch-mechanischen Behandlung auf das Schadensbild (Fremdkeime, Grünschimmel, Bakterien) bewertet werden.

Für diesen Betriebsversuch wurden jeweils ca. 600 kg der Mischungen M1 und M3 beim Projektpartner LAV hergestellt. Bei der Mischung M1 handelt es sich um die Rezeptur aus der gleichnamigen Mischung M1 des zweiten Betriebsversuchs. Bei der Mischung M3 wurde einige Komponenten der Mischung thermisch-mechanisch, zur Optimierung der Partikelstruktur sowie zur Reduzierung unerwünschter Fremdkeime, behandelt. Die finalen Mischungen inkl. der Zuschlagstoffe zur pH-Wertregulierung wurden mit dem Trommelmischer bei der LAV hergestellt. Die Mischungen wurden am darauffolgenden Tage an den Transferpartner Pilzhof geschickt und auch direkt verarbeitet.

Bei der Befüllung des Vorlagebunkers wurden versehentlich die beiden Mischungen übereinander geschüttet. Es wurde noch versucht, die beiden Mischungen zu trennen, jedoch konnte keine eindeutige Trennung der Mischungen erreicht werden. Eine nachträgliche Homogenisierung beider Mischungen war leider auch nicht mehr möglich. Es wurden insgesamt 15 Kisten mit den torffreien Abdeckerden belegt. Auf Grund der Lage der Mischungen M1 und M3 im Vorlagebunker wurde versucht den belegten Kisten die jeweilige Mischung zuzuordnen. Somit ergab sich folgende Zuordnung (Kiste 1-4: M1, Kiste 5-6: Mischung M1 und M2; Kiste 7-8: M3; Kiste 9: Mischung aus M3 und PH). Als Referenz wurden wieder torfhaltige Standardabdeckerde (PH, 100 % Torf; Kiste 10-15: PH) mitgeführt.

Nach 12 Tagen Kulturdauer wurden die Referenz- und Versuchskisten an den Referenzbetrieb ReiPiKo (11 Kisten) und an einen weiteren Kultivierungsbetrieb E (4 Kisten) zur Fruchtbildung geliefert. Die Ergebnisse des dritten Betriebsversuches vom 24.05.2024 bis 21.06.2024 sind in der nachfolgenden Tabelle (Tabelle 20) dargestellt.

Tabelle 20: Champignonerträge [kg/m²] des 3. Betriebsversuchs im Referenzbetrieb ReiPiKo (IHD)

Mischung	M1 (1)	M1 (2)	M1 (3)	M1 (4)	M 1 + M3 (1)	M3 (1)	M3 (2)	U1	PH1	PH2	PH3
Torf	100 % torffrei unbehandelt				100 % torffrei behandelt			Rest gemischt	Torf PL		
Kiste	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12
1. Welle	14,16	11,54	14,19	13,04	14,19	9,96	11,64	10,62	12,58	14,51	15,55
2. Welle	11,67	11,78	10,59	12,37	13,15	13,37	12,81	13,78	11,78	14,93	14,52
Σ Ertrag	25,82	23,32	24,78	25,41	27,34	23,33	24,46	24,40	24,36	29,44	30,07
Σ Mittelwert	24,8				27,34	23,89		24,40	27,95		
3. Welle	5,70	1,04	1,44	2,70	1,04	2,96	3,78	0,74	2,04	1,44	0,96
Σ Ertrag	31,52	24,36	26,22	28,11	28,38	26,29	28,24	25,14	26,40	30,88	31,03
4. Welle	1,41	0,70	0,91	0,30	0,33	0,81	1,33	0,00	1,57	1,11	0,78
Σ Ertrag	32,93	25,07	27,13	28,40	28,71	27,11	29,57	25,14	27,97	31,99	31,81
Σ Mittelwert	28,38				28,71	28,34		25,14	30,59		

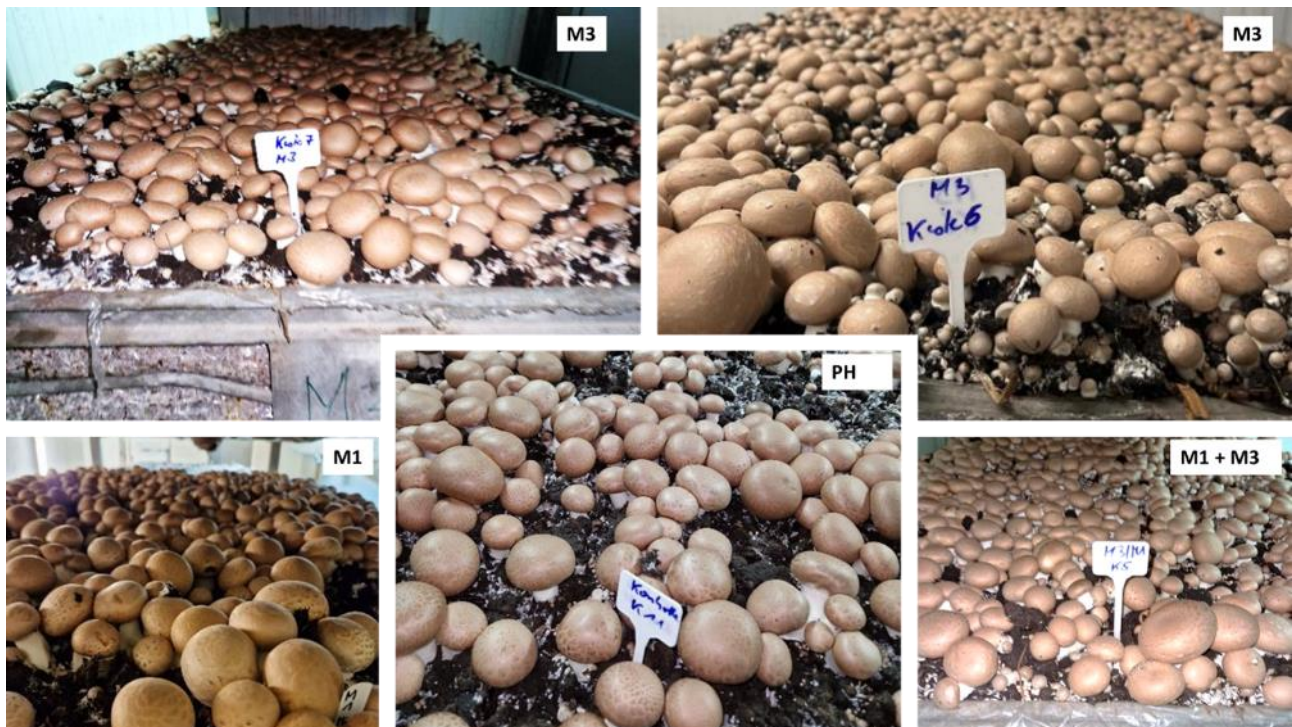


Abbildung 42: Vergleich der Kisten mit der torfhaltige Kontrolle PH = Torf PL und mit den 100 % torffreien Mischung M1, M2 und M1/M3 bei der ersten Welle im Referenzbetrieb ReiPiKo (IHD)

Resümee ReiPiKo zum Einsatz der torffreien Abdeckerden M1 und M3

Es ist gelungen, mit den alternativen MykoDeck Erden M1 und M3 Erträge zu erzielen, die mit denen der herkömmlichen torfhaltigen Abdeckerde (PH) vergleichbar sind (Tabelle 20).

Nach Meinung der ReiPiKo-Betriebsleitung sollte im nächsten Schritt auf Basis der Rezepturen ein optimaler Plan für die Kultivierung der torffreien Abdeckerde entwickelt werden. Hierbei wäre es sinnvoll zu untersuchen, wie sich unterschiedliche Gießstrategien auswirken: Ist es effektiver, mehrmals täglich kleine Mengen zu gießen, oder sollten größere Mengen mit zwei Tagen Pause zwischen dem Gießen erfolgen, wenn die ersten Pilze erscheinen? Diese Vorgehensweise könnte verhindern, dass die Pilze immer wieder übergossen werden. Wir sollten darauf hinarbeiten, dass die Kisten nach der zweiten Welle ähnliche Ergebnisse erzielen. Das bedeutet, die Erträge in der ersten Welle müssen signifikant verbessert werden. Möglicherweise wäre es sinnvoll, im Pilzhof die Durchwachszeit, um eine Woche zu verlängern und täglich das Myzel zurückzugießen. Dadurch hat das Myzel mehr Zeit, die Holzbestandteile abzubauen, und die Abdeckdeckerde kann etwas mehr Feuchtigkeit halten.

Es ist entscheidend, sich auf die Erträge der ersten beiden Wellen zu konzentrieren, da eine konstante Produktion wirtschaftlich vorteilhafter ist. Die Ergebnisse der ersten und zweiten Welle sind nahezu identisch, während die Erträge der dritten Welle stark abfallen. Um drei Wellen zu ernten, wird zusätzliche Fläche benötigt, was mit hohen Kosten und einem vergleichsweise geringen Ertrag verbunden ist. Wenn also keine überschüssige Anbaukapazität vorhanden ist, erweist sich ein System mit zwei Wellen als wirtschaftlicher.

Die Abdeckerde M1/M3 (Mix) unterscheidet sich in der Optik nicht von der Kontrollerde PH. Die Qualität des Mixes ist ausgezeichnet und der Ertrag ist vergleichbar, wobei die Erde jedoch etwas häufiger gegossen werden musste. Das Aussehen der geernteten Champignons ist identisch, jedoch sind die torffreien Pilze fester und knackiger. Geschmacklich haben wir festgestellt, dass sie sowohl im rohen als auch im verarbeiteten Zustand intensiver schmecken. Der Mix wurde genauso betreut wie die Kontrollerde, wobei die Pilze einen Tag früher geerntet wurden. Während der Aufzucht wurden keinerlei Schimmelpilze oder ähnliche Krankheiten festgestellt.

Die Haltbarkeit in der Kühlzelle bei 2 bis 3 °C ist sehr gut. In einem Test haben wir eine Kiste mit den Fruchtkörpern für sechs Wochen lang stehen gelassen, und erst nach dieser Zeit war sie nicht mehr verarbeitbar.

Tabelle 21: ermittelte Champignonerträge des 3. Betriebsversuchs im Kultivierungsbetrieb (IHD)

Mischung	M1 + M3 (1)	PH1	PH2	PH3
Torf	100 % torffrei	Torf PL		
Kiste	6	13	14	15
1. Welle	10,24	10,38	9,58	9,34
2. Welle	7,46	8,50	8,33	8,72
3. Welle	2,70	2,85	2,74	5,42
Σ Ertrag	20,40	21,73	20,65	23,48

Im dritten Betriebsversuch in beiden Betrieben wurde festgestellt, dass die torfhaltige Abdeckerde PH ertragreicher ist als die getesteten torffreien Mischungen M1, M2 und M1 + M3 (Tabelle 21). Grund hierfür könnte auch eine unzureichende Bewässerung der torffreien Mischungen während der Vorkultivierung im Pilzhof gewesen sein.

Die Tintlinge, traten wieder in der zweiten Welle bei der unbehandelten Mischung M1 auf. Eine thermische Behandlung von einzelnen Komponenten könnte das Auftreten von Schädlingen unterdrücken bzw. verzögern.

Begleitende Laborversuche zum 3. Betriebsversuch

Analog zum zweiten Betriebsversuch wurden die Laborversuche mit den torffreien Rezepturen (M1 und M3) mit braunen Champignons am IHD durchgeführt. Da die Probenahme vor der versehentlichen Vermischung der Proben erfolgten, konnten im Rahmen dieser Untersuchungen die reinen Mischungen getestet werden. Zusätzlich wurde eine Mischung M1 + M3 hergestellt, um den Einfluss der Vermischung der beiden Varianten zu untersuchen. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle (Tabelle 22) aufgeführt.

Tabelle 22: Ergebnisse des begleitenden Laborversuchs mit braunen Champignons vom 10.06.2024 bis 03.07.2024 (IHD)

Kisten	Mischung	1. Welle	2. Welle	Σ Ertrag nach zwei Wellen		Mittelwert	3. Welle	Σ Ertrag nach drei Wellen		Mittelwert
Nr.	Beschreibung	[g]	[g]	[g]	[kg / m²]	[kg / m²]	[g]	[g]	[kg / m²]	[kg / m²]
1	PH	797	1.887	2.684	20,6	18,1	161	2.845	21,9	20,4
2	PH	973	845	1.818	14,0		491	2.309	17,8	
3	PH	1.447	1.100	2.547	19,6		260	2.807	21,6	
7	M 1	1.072	680	1.752	13,5	15,0	342	2.094	16,1	17,4
8	M 1	1.598	820	2.418	18,6		425	2.843	21,9	
9	M 1	899	782	1.681	12,9		158	1.839	14,1	
10	M 3	1.379	905	2.284	17,6	16,7	352	2.636	20,3	20,8
11	M 3	1.164	1.214	2.378	18,3		699	3.077	23,7	
12	M 3	738	1.120	1.858	14,3		521	2.379	18,3	
13	M 1+ 3	796	1.409	2.205	17,0	16,9	573	2.778	21,4	20,0
14	M 1+ 3	924	1.054	1.978	15,2		467	2.445	18,8	
15	M 1+ 3	979	1.437	2.416	18,6		174	2.590	19,9	

Laborversuche des IHD haben ergeben, dass die behandelte M3-Mischung im Vergleich zur unbehandelten M1 Mischung ertragreicher war. Im Vergleich zu den torfhaltigen Standardabdeckerden konnten vergleichbare Erträge erzielt werden. Es zeigte sich, dass die behandelte Mischung M3 insbesondere in der 3. Welle die höchsten Erträge erzielen konnte. Allerdings war die dreifache Wiederholung des Versuchs nicht ausreichend, um die Unterschiede eindeutig zu erkennen.



Abbildung 43: Laborversuche in der Klimakammer (links) und Vergleich der Kisten mit der torfhaltigen Kontrolle (PH) und der 100 % torffreien Mischung M1 und M2 sowie M1 + M3 in der ersten Welle (rechts) am IHD

Im dritten Betriebsversuch in beiden Betrieben wurde festgestellt, dass die torfhaltige Abdeckerde PH ertragreicher ist als die getesteten torffreien Mischungen M1, M2 und M1 + M3. Aufgrund eines Fehlers bei der Belegung der Kisten wurden die behandelte Abdeckerde M3 und die unbehandelte M1 vermischt. Zudem zeigte sich, dass die torffreien Abdeckerden auf dem Pilzhof während der Kultivierung zu wenig gegossen wurden. Die braunen Champignons zeigten sich wenig anfällig für bakterielle Pilzkrankheiten, die insbesondere durch verschiedene *Pseudomonas*-Arten wie *P. gingeri* und *P. tolaasii* verursacht werden (Abbildung 44). Tintlinge traten wieder vor allem in der zweiten Welle in der unbehandelten Mischung M1 auf. Eine thermische Behandlung von einzelnen Komponenten könnte das Auftreten von Schädlingen unterdrücken bzw. verzögern.



Abbildung 44: braune Champignons mit Bakterium-Befall durch *Pseudomonas* sp. (IHD)

Die Laborversuche konnten die Ergebnisse der Betriebsversuche gut widerspiegeln. Im Vergleich der torffreien Mischungen konnte die behandelte Mischung M3 sowohl bei den Betriebsversuchen als auch bei den Laboruntersuchungen einen etwas höheren Ertrag erzielen. Der höhere Ertrag der torfhaltigen Abdeckerden PH in den Betriebsversuchen konnte in den Laboruntersuchungen nicht bestätigt werden. Grund könnte die intensivere Kontrolle und Steuerung der Klimabedingungen und vor allem eine angepasste Bewässerung sein.

Geschmackstest

Nach Hinweisen aus den Betrieben, dass die Champignons von den torffreien Abdeckerden eine bessere Qualität aufweisen und intensiver schmecken, wurde ein einfacher nicht repräsentativer Geschmackstest durchgeführt. Am IHD wurde eine anonyme Verkostung und Bewertung der frischen brauner Champignons mit 64 Probanden durchgeführt. Insgesamt wurden drei Varianten getestet. Zwei davon waren Pilze, die auf eigenen torffreien Mischungen (M1 und M3) gewachsen waren und eine Variante wuchs auf einer torfhaltigen Standardabdeckerde (Kontrolle PH). Im Vorfeld wurde eine vollständige chemische Analyse durchgeführt. Ziel des Geschmackstests war es, die Geschmackspräferenzen auf einer Skala von 1 bis 5 zu ermitteln, wobei 1 die höchste Bewertung darstellt. Die Tester fanden hierbei die Pilze auf der torffreien unbehandelten Abdeckerde M1 am besten, diese wurden 42-mal mit der Note 1 oder 2 bewertet. Bei den Pilzen von der unbehandelten torffreien Abdeckerde M3 sowie der torfhaltigen Erde PH wurde die Note 1 und 2 28-mal bzw. 32-mal vergeben. Die Tendenzen deuten an, dass die Abdeckerde einen Einfluss auf die Qualität sowie auf den Geschmack haben, und müssen bei der weiteren Entwicklung der torffreien Abdeckerden beachtet werden.

Die Tester empfanden die Pilze, welche auf den torffreien Abdeckerden gewachsen sind, als fester und aromatischer als die von torfhaltiger Abdeckerde. Dieses Empfinden kann mit den Analysen bestätigt werden. Der Wassergehalt der von torffreien Abdeckerden liegt deutlich über dem der von torfhaltiger Abdeckerde.

Tabelle 23: chemische Analyse der Fruchtkörper der brauen Champignons (IHD)

Champignons weiß		Datum der Analyse 17.06.2	M1	M3	PH
Parameter	Einheit	Methode	MykoDeck torffrei		100 % Torf
Trockensubstanz	%	DIN EN 13040 : 2008-01	9,90	9,10	7,10
Wassergehalt	%	Methodenbuch BGK Kap. II, A 1.1 : 2006-09	90,1	90,9	92,9
Stickstoff gesamt (N)	%	DIN EN 16168 : 2012-11	6,42	5,22	5,24
Phosphat gesamt (P ₂ O ₅)	%	DIN EN ISO 11885 : 2009-09	2,91	2,65	3,14
Kalium gesamt (K ₂ O)	%	DIN EN ISO 11885 : 2009-09	5,06	5,57	6,40
Magnesium gesamt (MgO)	%	DIN EN ISO 11885 : 2009-09	0,21	0,19	0,23
Schwefel (S) Gesamtgehalt	%	DIN EN ISO 11885 : 2009-09	0,38	0,35	0,34
Ammonium (NH ₄ -N) (CaCl ₂)	mg/100g	Methodenbuch BGK Kap. III, A 2.1 : 2006-09	12,6	9,56	9,79
Natrium (Na)	mg/kg	DIN EN ISO 11885 : 2009-09	369	524	442
Molybdän (Mo)	mg/kg	DIN EN ISO 17294-2 : 2017-01	<1,0	<1,0	<1,0
Eisen (Fe) gesamt	mg/kg	DIN EN ISO 11885 : 2009-09	174	59,5	108
Kobalt (Co)	mg/kg	DIN EN ISO 17294-2 : 2017-01	<0,3	<0,3	<0,30
Selen (Se)	mg/kg	DIN EN ISO 17294-2 : 2017-01	4,1	3,1	3,6
Blei (Pb)	mg/kg	DIN EN ISO 17294-2 : 2005-02	<3,00	<3,00	<3,00
Cadmium (Cd)	mg/kg	DIN EN ISO 17294-2 : 2017-01	<0,10	<0,10	<0,10
Chrom (Cr)	mg/kg	DIN EN ISO 17294-2 : 2017-01	<1,00	<1,00	<1,00
Kupfer (Cu)	mg/kg	DIN EN ISO 17294-2 : 2017-01	23,2	17,6	18,8
Nickel (Ni)	mg/kg	DIN EN ISO 17294-2 : 2017-01	<1,00	<1,00	1,07
Quecksilber (Hg)	mg/kg	DIN EN 1483 : 2007-07	0,076	0,064	0,061
Zink (Zn)	mg/kg	DIN EN ISO 17294-2 : 2017-01	70,8	64,9	73,9

4. Betriebsversuch – torffreie Deckerden für die Produktion von Schopftintling und Mandelpilz

Im vierten Betriebsversuch wurde die ausgewählte torffreie Mischung M1 zusammen mit dem ABM-Pilz (Mandelpilz, *Agaricus subrufescens*) und dem Schopftintling (*Coprinus comatus*) sowohl im Referenzbetrieb als auch am IHD getestet. Entsprechend den vorhergehenden drei Betriebsversuchen wurde die Mischung M1

(0,6 t) vom Projektpartner LAV hergestellt. Am 17. Juli 2024 wurden 14 Kisten mit unbeimpftem Substraten vom Pilzhof zum Referenzbetrieb ReiPiKo transportiert. Die kommerzielle Brut für den ABM-Pilz als auch für den Schopftintling wurde von Mycelia bezogen. Von den 14 Kisten wurden neun mit jeweils 5 kg des Schopftintlings (Stamm 8102-5LSR) händisch inokuliert. Aufgrund von Qualitätsmängeln der Brut konnten nur fünf Kisten mit jeweils 3 kg des ABM-Pilzes (Stamm 7700-5LCI) inokuliert werden.



Abbildung 45: Einarbeitung Brut Schopftintling (*Coprinus comatus*) und ABM -Pilz (*Agaricus subrufescens*) in ungeimpftes Substrat (IHD)

In den folgenden drei Wochen wurden die Kisten bei einer Temperatur von 22 °C beim Referenzbetrieb ReiPiKo kultiviert. Hierfür wurden die Kisten mit einer Folie abgedeckt, um das Austrocknen des Substrates zu verhindern.



Abbildung 46: Kultivierung Myzelwachstum (ABM-Pilz und Schopftintling) im Substrat (IHD)

Während der Kultivierung wurde die Feuchtigkeit im Substrat überwacht und die Klimabedingungen gezielt angepasst. Unter der Folie kam es vereinzelt zur Bildung von Pfützen, wodurch das Myzelwachstum nicht gleichmäßig war. Vereinzelt konnte sich auch Schimmelpilz ausbreiten, was ebenfalls ein gleichmäßiges Myzelwachstum beeinflusste. Weiterhin konnte ein Unterschied zwischen ABM und *Coprinus* festgestellt werden. Ursache hierfür ist wahrscheinlich die unzureichende Qualität der ABM-Pilz-Brut. (Abbildung 47)



Abbildung 47: Fehlstellen beim Myzelwachstum sowie Grünschimmelbefall im 4. Betriebsversuch mit ABM-Pilz und Schopftintling (IHD)

Nach der Kultivierung wurden die durchwachsenen Substrate mit Abdeckmaterial versehen; für jeden Kulturpilz wurden drei Kisten mit M1 abgedeckt. Als Kontrolle wurde wieder die Standardabdeckerde (PH) verwendet, wobei drei Kisten für den Schopftintling und zwei Kisten für den ABM-Pilz vorbereitet wurden. Darüber hinaus wurde für den Schopftintling eine neue Mischung aus M1 (75 %) und der Standardabdeckerde (PH) (25 %) für drei Kisten hergestellt. Die Belegung der einzelnen Kisten erfolgte händisch (Abbildung 48).



Abbildung 48: Big-Bag mit Mischung M1 (links), händische Belegung der Kisten (mittig) und Abdecken der Kisten mit Folie (rechts) (IHD)

Alle Kisten wurden unter kontrollierten Klimabedingungen (CO_2 , Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Licht) in speziellen Klimäräumen kultiviert, wobei die Inkubationszeiten und der Zeitpunkt der Fruchtkörperbildung erfasst wurden.

Der vierte Betriebsversuch mit dem ABM-Pilz und dem Schopftintling war von Anfang an mit Schwierigkeiten behaftet. Die neu beschaffte gemahlene Körner-Brut des ABM-Pilzes von [REDACTED] erwies sich als erheblich minderwertig im Vergleich zu früheren Chargen, was zu einer langsamen Myzelbesiedlung führte. Zudem kam es punktuell zu Kontaminationen mit Grünschimmel. Es stellte sich heraus, dass das Substrat bei der Befüllung der Kisten [REDACTED] zudem mit braunen und weißen Champignons kontaminiert war. Beispiele für diese Kontaminationen sind in Abbildung 49 dokumentiert.



Abbildung 49: Kontamination mit Fremdpilzen Schopftintling mit braunen und weißen Champignons (1, 2) und ABM-Pilz mit weißen Champignons (3) (IHD)

Trotz der Kontamination durch Fremdpilze zeigten sich beide Kulturpilze als resistent und es konnten minimale Erträge erzielt werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 24 zusammengefasst.

Tabelle 24: Erträge des Schopftintlings und des ABM-Pilzes im Referenzbetrieb ReiPiKo (IHD)

Ertrag	Schopftintling									ABM-Pilz				
Abdeck- erde	Kontrolle PH			M 1			Mix MD 75			Kontrolle PH		M 1		
Kisten Nr.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	3
erste Ernte am	22.08.	26.08.	03.09.	05.09.	08.09.	06.09.	06.09.	03.09.	31.08.	12.09.	12.09.	31.09.	08.09.	15.09.
Gesamt- ertrag [kg/m²]	8,31	3,79	10,35	4,59	4,37	12,64	3,36	3,46	3,54	13,8	12,1	13,61	17,45	11,75
Σ Mittel- wert	7,5			7,2			3,5			12,9		14,27		

Die Erträge der beiden Kulturpilze auf der torffreien Mischung M1 waren vergleichbar bzw. bei dem ABM -Pilz höher mit denen, die auf der torfhaltigen Standardabdeckerde (PH) erzielt wurden. Beim Schopftintling trat die Fruktifikation bei der Kontrolle (PH) zwei Wochen früher ein als bei der torffreien bzw. torfreduzierten Abdeckerde. Beim Mandelpilz war es umgekehrt. Beide Kulturpilze wuchsen sehr langsam und ohne deutliche Wellen, da die Substrate mit Champignons kontaminiert wurden (Abbildung 50). In Abbildung 52 ist der Vergleich der Fruktifikation der beiden Arten auf verschiedenen Abdeckerden dargestellt.



Abbildung 51: Vergleich der Fruktifikation mit der torfhaltigen Kontrolle PH und mit der 100 % torffreien Mischung M1 bei dem ABM-Pilz in der ersten Welle beim ReiPiKo (IHD)

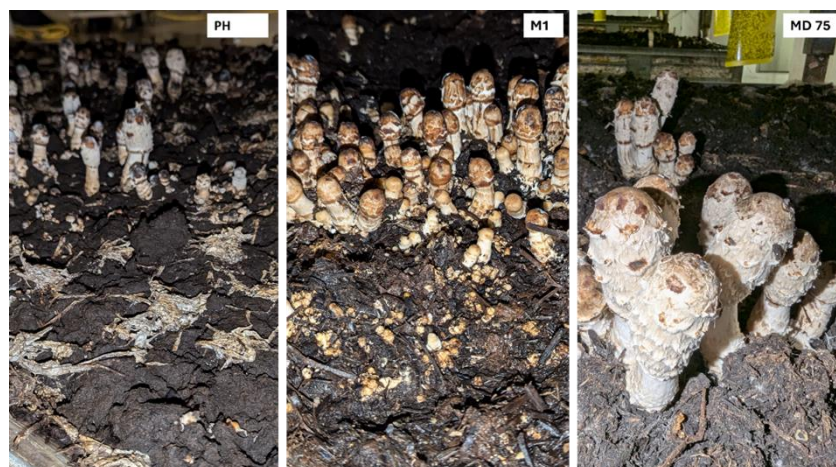


Abbildung 52: Vergleich der Fruktifikation mit der torfhaltigen Kontrolle PH und mit der 100 % torffreien Mischung M1 sowie der 75 % torf reduzierten Mischung MD75 beim Schopftintling in der ersten Welle beim ReiPiKo (IHD)

Aufgrund der Kontamination verzögerte sich die Fruktifikation des Schopftintlings um nahezu zwei Wochen, während die des ABM-Pilzes sich um zwei Monate verzögerte. Da die Klimaräume bereits für andere Pilzarten im Referenzbetrieb geplant waren, mussten die Versuchskisten während der Fruchtbildung entsorgt werden. Somit war eine finale Auswertung der erzielbaren Erträge des 4. Betriebsversuchs nicht möglich.

Resümee des 4. Betriebsversuchs im Referenzbetrieb

Schopftintlinge

Die Kultivierung der Schopftintlinge verlief auf der torffreien Mischung M1 bzw. torf reduzierten Mischung MD75 ähnlich wie auf den Abdeckerde PH mit Torf. Unabhängig von der Kontamination des Substrates mit braunen Champignons war die Kultivierung der Schopftintlinge sehr problematisch. Es wurde sehr lange nach optimalen Klimabedingungen aus Frischluft, Wasser und Temperatur gesucht. Die beiden alternativen Abdeckerden waren sehr schnell trocken. Die Zugabe von Wasser während der Fruchtbildung führte zu einer Verzögerung des Wachstums bzw. zum Einsetzen des Verderbs. Wenn drei Tage lang kein Wasser gegeben wurde, dauerte es weitere drei Tage, bis sich die Wasseraufnahme des Oberbodens wieder normalisierte. Wenn die Luftfeuchtigkeit zu hoch war, um ein schnelles Abtrocknen zu verhindern, setzte der Verfall ein. In dieser Phase fehlt den Pilzen das Wasser zum Wachsen und viele Pilze blieben bei ca. 2 cm stehen.

Allgemein wurde festgestellt, dass die Fruktifikation auf alternativen Abdeckerden mindestens genauso gut funktioniert hat, aber die Wachstumsphase problematisch ist. Die Erträge der Schopftintlinge sind auf torffreien

Abdeckerden gleich hoch, wie bei der torfhaltiger Kontrolle PH. Wie beim zweiten und dritten Versuch mit Champignons gilt auch hier: je länger der Versuch dauert, desto besser ist die Wasseraufnahme der torffreien Abdeckerde und desto höher sind die Erträge. Hier sollten weitere Versuche zur Verbesserung der Wasseraufnahme durchgeführt werden.

ABM-Pilz

Die Kultivierung der beiden Abdeckerden M1 und PH verlief identisch. Das liegt daran, dass die Pilze sehr gut mit der täglichen Bewässerung zurechtkommen. Dadurch wird die torffreie Abdeckerde ausreichend feucht gehalten. Das Wachstum der ABM-Pilze wurde durch das Gießen nicht eingeschränkt. Lediglich die ständige Kühlung der Substratkisten führte zu einem erhöhten Energiebedarf. Ab Oktober wurden die Substratkisten mit der Mischung M1 dreimal täglich gewässert, die Kontrollkisten PH nur zweimal. Dadurch war die Durchschnittstemperatur der Kontrollen um 1,5 K höher. Die Fruchtbildung auf torffreier Abdeckerde setzte zwölf Tage früher ein. Die Erträge der torffreien Abdeckerde M1 waren höher als die der Kontrolle PH, aber auch weniger mit Champignons kontaminiert. Nach unserer Einschätzung ist die torffreie Abdecke sehr gut für den Anbau von ABM-Pilzen geeignet. Es müssen allerdings alternative Bewässerungsmethoden entwickelt und getestet werden, z. B. eine permanente Oberflächenbewässerung nach dem Tropfverfahren. Vielleicht ist es dann möglich, die Abdeckerde ausreichend feucht zu halten, ohne das Substrat zu stark abzukühlen. Dies wäre ein interessanter Ansatz für die Zukunft.

Begleitende Laborversuche mit weiteren Kulturpilzen

Diese Laborversuche umfassten die Erprobung der torffreien Mischung M1 im Vergleich zu torfhaltiger Standardabdeckerde (PH) unter Verwendung verschiedener Kulturpilze, die mit den Referenzpilzen physiologisch identisch oder mit anderen Champignon-Stämmen verwandt sind. Analog zu den vierten Betriebsversuchen wurde zunächst das Substrat am 02.08.2024 mit Brut (Mycelia) beimpft, anschließend zwei Wochen lang bei 22 °C kultiviert und die Kisten dann mit beiden Abdeckerden 16.08.2024 abgedeckt. Die Kultivierung fand unter kontrollierten klimatischen Bedingungen (CO₂, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Licht) in einer IHD-Klimakammer statt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 25 zusammengefasst.

Tabelle 25: Ergebnisse der IHD-Laborversuche mit weiteren Kulturpilzen (IHD)

Abdeckerde	Pilzart	Stamm	Kiste	Ertrag			Σ Ertrag		Bemerkung
		Mycelia	Nr.	Anfang	Ende	Dauer [Tage]	[g]	[kg/m²]	
PH	<i>Agaricus bisporus</i> var. <i>bisporus</i>	7215-1LWK	20	03.09.24	24.10.24	51	3.492	26,9	
M1			19	05.09.24	24.10.24	49	3.122	24,0	spätere Fruktifikation
PH	<i>Agaricus bisporus</i> var. <i>hortensis</i>	7243-1LWK	3	05.09.24	01.11.24	57	2.462	18,9	Pilze waren geöffnet
M1			4	09.09.24	28.10.24	49	2.022	15,6	spätere Fruktifikation
PH	<i>Agaricus arvensis</i>	7400-MBARO	5	13.09.24	24.10.24	41	1.001	7,7	
M1			6	11.10.24	28.10.24	17	1.157	8,9	spätere Fruktifikation
PH	<i>Agaricus bisporus</i> weiß	<i>Calocybe indica</i> 8401-MBACI	10	11.09.24	21.10.24	40	1.163	9,0	falsche Art
M1			9	11.09.24	04.11.24	54	1.606	12,4	spätere Fruktifikation
PH	<i>Agaricus subrufescens</i>	7700-5LCI	7	21.10.24	21.10.24	0	158	1,2	spätere Fruktifikation, nur ein Pilz
M1			8	30.09.24	22.11.24	53	302	2,3	nur zwei Pilze
PH	<i>Coprinus comatus</i>	8102-5LSR	1	02.10.24	11.11.24	14	2.315	17,8	
M1			2	28.10.24	11.11.24	40	268	2,1	spätere Fruktifikation

Im Vergleich zu früheren Betriebsversuchen mit Champignons waren die Ergebnisse für den Schopftintling und den Mandelpilz nicht miteinander vergleichbar, was vermutlich auf die gleichen klimatischen Bedingungen zurückzuführen ist. Es konnte jedoch festgestellt werden, dass sich der ABM-Pilz auf der torffreien Mischung M1 besser entwickelte und die Fruktifikation früher einsetzen konnte als auf der Standardabdeckerde PH (Abbildung 53).

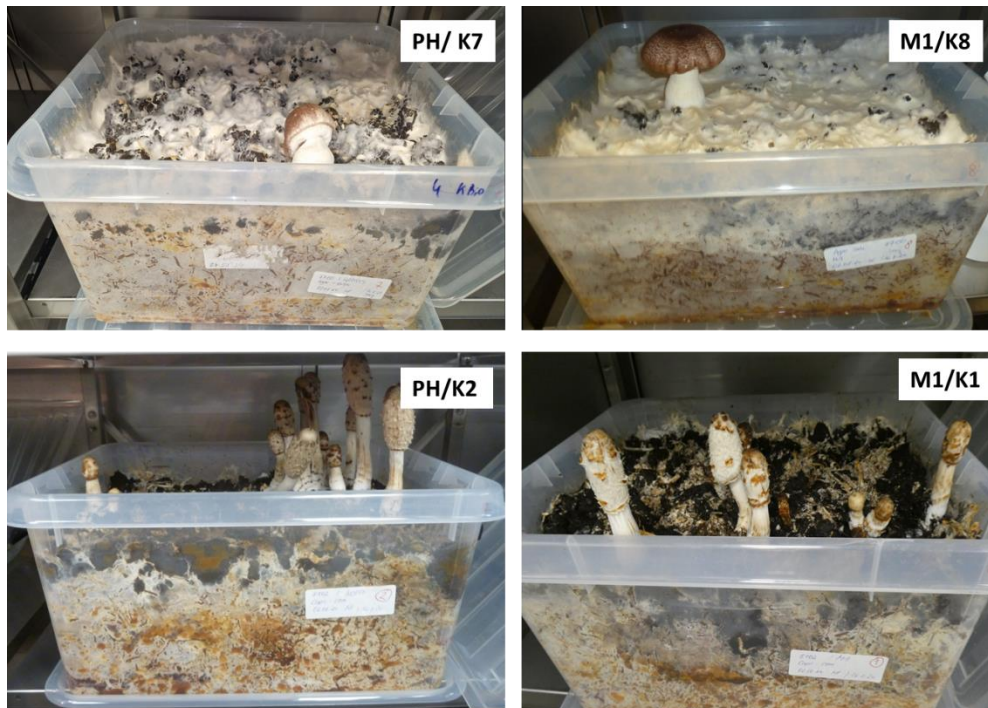


Abbildung 53: Vergleich der Kisten (K) mit der torfhaltigen Standardabdeckerde PH (1) und mit der torffreien Mischung M1 bei der ersten Welle vom ABM-Pilz (oben) und Schopftintling (unten) am IHD, siehe Tabelle 26 (IHD)

Mit Ausnahme des Anis-Champignons (*Agaricus arvensis*) waren die Erträge der anderen Kulturpilze in der PH-Standardabdeckerde höher. Beim Anis-Champignon setzte die Fruktifikation trotz besserer Erträge zu einem späteren Zeitpunkt ein. Es wurde deutlich, dass die Wachstums- und Ertragsphasen der gleichen Kulturpilze unter identischen klimatischen Bedingungen zwischen den beiden Abdeckerden erheblich variieren können.

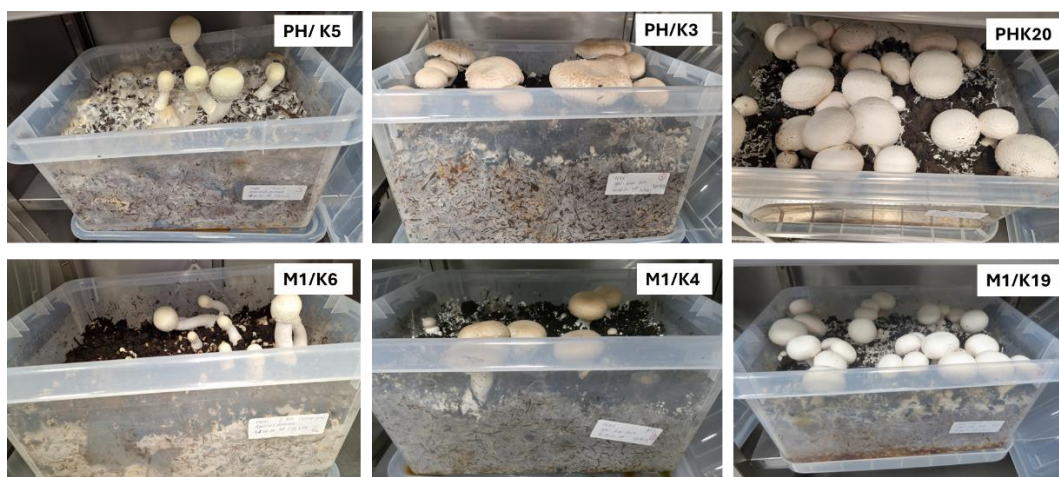


Abbildung 54: Vergleich der Kisten (K) mit der torfhaltigen Kontrolle PH = Torf PL und mit der torffreien Mischung M1 bei der ersten Welle bei drei verschiedenen Kulturpilzen am IHD, siehe Tabelle 26 (IHD)

Die Ergebnisse dieser Versuche verdeutlichen, dass für jeden spezifischen Kulturpilz oder Stamm eine maßgeschneiderte Rezeptur der Abdeckerde entwickelt und optimiert werden muss. Darüber hinaus sollten die optimalen klimatischen Bedingungen ermittelt werden.

Zusammenfassung der Betriebsversuche mit den Referenzpilzen und abgeleitete Handlungsempfehlungen (AP5.3)

Im ersten Betriebsversuch wurde die Rezeptur MD50 (50 % torfreduziert) in fünf Betrieben sowie am IHD mit braunen Champignons getestet. Hierbei erzielten drei von fünf Betrieben und das IHD höhere Erträge im Vergleich zu den kommerziellen Abdeckerde mit 100 % Torfanteil.

Der zweite Betriebsversuch umfasste die Erprobung zweier torffreier Rezepturen M1 und M2 mit weißen Champignons in einem Referenzbetrieb und am IHD. In beiden Fällen waren die Erträge über drei Wellen hinweg vergleichbar mit denen der kommerziellen Abdeckerde.

Im dritten Betriebsversuch wurden die Rezepturen M1 und M3 (beide torffrei und M3 thermisch-mechanisch behandelt) mit braunen Champignons in einem Referenzbetrieb und Musterbetrieb sowie am IHD getestet. Auch hier waren die Erträge im Referenzbetrieb und am IHD über alle drei Erntewellen hinweg vergleichbar mit den Erträgen der kommerziellen Abdeckerde.

Im Laufe der Versuche wurden folgenden positiven Ergebnisse bei torffreien Abdeckerden im Vergleich zu torfhaltigen Abdeckerden beobachtet:

- Pilze sind deutlich kräftiger und aromatischer (Ergebnis einer Verkostung durch die Projektpartner, 64 IHD-Probanden und zwei Zuchtbetriebe),
- Pilzkrankheiten beim weißen Champignon treten erst nach 3. Erntewelle auf,
- Erträge des braunen Champignons bei 50 % torfreduzierter Mischung sind gleich bzw. höher,
- Erträge von weißen und braunen Champignons mit 100 % torffreien Abdeckerden sind nach der 3. Erntewelle vergleichbar,
- Pilze sind lagerfähig und wenig erkrankt.

Trotz positiver Ergebnisse in den Labor- und Betriebskultivierungsversuchen wurden auch zahlreiche nachteilige Erkenntnisse, Effekte bzw. Probleme festgestellt.

- Bildung von Klustern bei der Fruchtkörperbildung
- schlechtere Wasseraufnahme führt zu oberflächlicher Pfützenbildung und Verhärtung der Oberfläche
- schnellere Verdunstung
- torffreie Mischungen führen zu eher feinem Myzel, auch dies führt zu einer temporären Versiegelung der Oberfläche und somit zu einer geringeren Wasseraufnahme
- Verhärtung der Oberfläche fördert die Clusterbildung
- Pfützen wirken sich positiv auf die Etablierung von Krankheiten aus

Im Vergleich zu torfhaltigen Abdeckerden sollten die torffreien Mischungen mit geringer Wasserspeicherkapazität intensiver und regelmäßig bewässert werden. Insbesondere bei der Bildung der Primordien (Fruchtkörper im Frühstadium) führte die Zugabe von Wasser zur Verzögerung der Fruktifikation und Reduzierung der Erträge durch Absterben der kleinen Pilze. Durch übermäßiges Gießen, vor allem bei der Bildung von Pfützen, stieg die Anfälligkeit der Pilze (Fruchtkörper) für verschiedene Krankheiten. Bei Champignons können verschiedene Arten von *Pseudomonas*-Bakterien zu gelben o. braunen Flecken führen. Die *Pseudomonas sp.* können sich in feuchten Umgebungen, insbesondere nach der zweiten Welle, gut vermehren. Die intensive Bewässerung, vor allem in der ersten Welle der weißen Champignons, führte zum Auftreten der Pilzkrankheit „Grünschimmel“, die

durch die *Trichoderma sp.* verursacht wird. In der Abbildung 55 sind einige Probleme und Krankheiten bei der Verwendung von torffreien Abdeckerden dargestellt. Tintlinge treten vor allem in der zweiten Welle auf, wenn die Mischung nicht optimal thermisch behandelt wurde.

Zudem wurde beobachtet, dass in torffreien Mischungen eher feines Myzel gebildet wird. Dies hat zur Folge, dass die Oberflächenschicht während der ersten Welle hart wird und somit eine geringere Wasseraufnahmekapazität aufweist. Das bei Bewässerung stehenbleibende Wasser verdunstet sehr langsam, was sich positiv auf die Etablierung von Krankheiten auswirkt und zu Qualitätsbeeinträchtigung der Fruchtkörper führen kann. Darüber hinaus wurden andere Probleme bzw. Nachteile wie Verfärbungen und Clusterbildung von Pilzen oder ungleichmäßige Fruchtkörperbildung bei der Verwendung von torffreien Mischungen beobachtet.

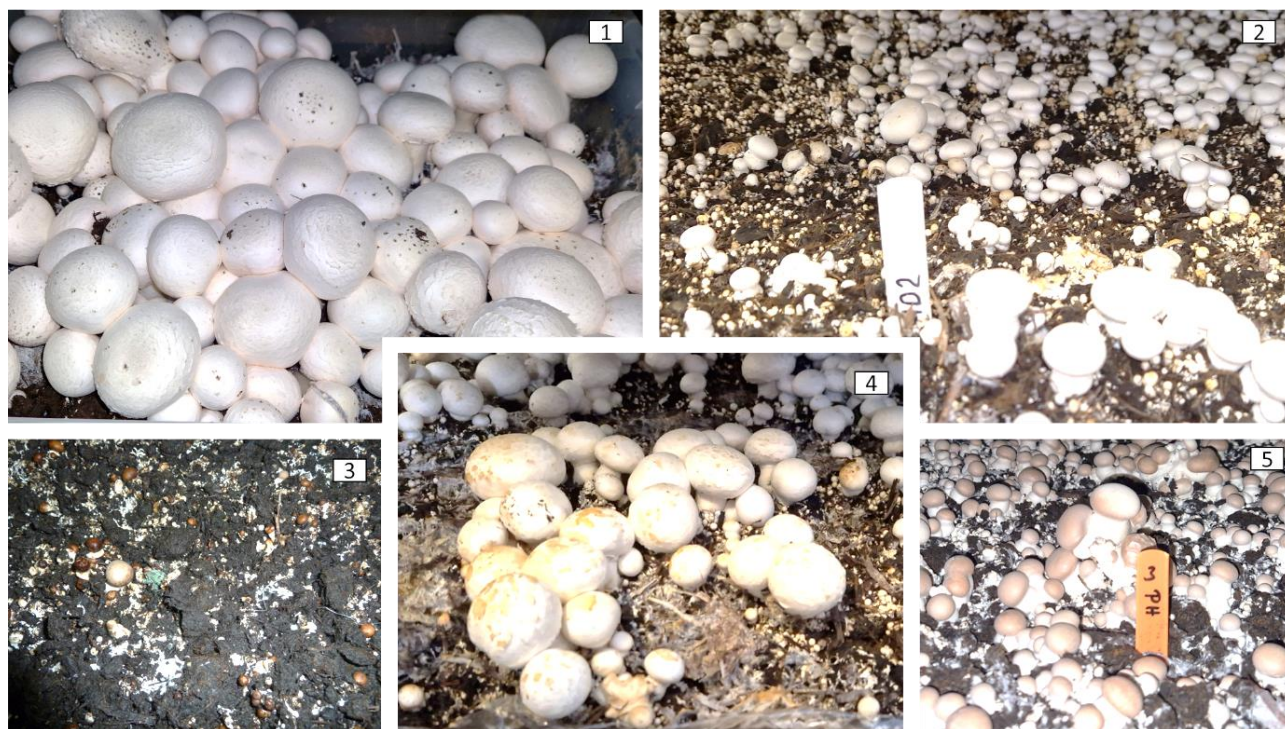


Abbildung 55: ausgewählte Probleme / Nachteile bei der Verwendung von torffreien Abdeckerden; Verformung und Verfärbung der Pilze (1); ungleichmäßige Fruchtkörperbildung (2); Auftreten von Fremdpilzen wie z. B. Tintling und Grünschimmel (3), gelbe Flecken bei den Fruchtkörpern durch Bakterien (4); Bildung von Pilzclustern (5) (IHD)

Die Ergebnisse der chemischen Analyse der Champignons (Fruchtkörper) von den torffreien Erden zeigte, dass keine der untersuchten Proben eine Kontamination oder Rückstände von Schwermetallen aufwies. Es wurde festgestellt, dass die torffreien Champignons auf der Mischung M1 mehr Eisen und Selen enthielten als die konventionellen Champignons. In der folgenden Tabelle 26 werden Beobachtungen sowie deren Auswirkungen beschrieben.

Tabelle 26: Erkenntnisse und Probleme aus den Betriebs- und Laborversuchen mit torffreien Abdeckerden (IHD)

Beobachtung	Effekt / Auswirkung
heterogene Dichte und fasereiche Strukturen der Abdeckerden	ungleichmäßiges Myzelwachstum und ungleichzeitige Fruchtkörperbildung
schnelles Austrocknen der Bodenflächen, suboptimale Bewässerung, geringe Wasserspeicherkapazität der Abdeckerden	zusätzliche Bewässerung notwendig, erhöhte Kultivierungsdauer, Ertragseinbußen, erhöhte Krankheitsanfälligkeit, Verfärbung der Fruchtkörper
Verdichtung im Bodenbereich	zu geringes Porenvolumen, Unterversorgung mit Sauerstoff, geschwächtes Myzel, Bildung von Pilzclustern
Verformung der Fruchtkörper	zu viele Pilze pro Fläche, erhöhte Arbeits- und Personalkosten
Verfärbung (rosa oder grau) der Fruchtkörper bzw. der Anschnittflächen	schlechte Pilzqualität, zu hohe Fe-/Cu-Gehalte in den Abdeckerden
gelbe Flecken bei den Fruchtkörpern durch Bakterien	Verfärbung der Fruchtkörper, schlechte Pilzqualität
Auftreten von Fremdpilzen wie z. B. Tintling, gelbe Flecken bei Fruchtkörper durch Bakterien	Kontaminationsgefahr, zusätzliche Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen, Reduzierung der Lagerzeit
zu geringes Monitoring während der Kultivierung (z. B. Bodenfeuchte)	Maßnahmen (Bewässerung und Klimatisierung) werden zu spät ergriffen und nicht an die torffreien Erden angepasst, fehlende Erfahrung des Personals im Umgang mit torffreien Abdeckerden

Im Allgemeinen werden in den Produktionsbetrieben Champignons in zwei Wellen geerntet. Daten zeigen, dass braune Champignons mit durchschnittlich 21 bis 23 kg/m² geringere Erträge erzielen als weiße Champignons, die durchschnittlich 25 bis 26 kg/m² erreichen. Laut den Betrieben wäre bisher eine dritte Erntewelle nicht mehr rentabel, und bei weißen Champignons wäre dies aufgrund von Krankheitsrisiken nicht sinnvoll. Durch die Versuche wurde ermittelt, dass die torfhaltige Standardabdeckerde im Vergleich zur niederländischen Abdeckerde deutlich weniger anfällig für die Pilzkrankheiten war. Die getesteten torffreien Mischungen waren durch SMS jedoch deutlich resistenter gegen pathogene Bakterien als die polnische Abdeckerde. Damit bietet der Einsatz der entwickelten torfgeduzierten und insbesondere torffreien Mischungen ein höheres Ertragspotenzial in der dritten Ertragswelle. Dies wird ermöglicht durch ein signifikant geringeres Risiko für ertragsmindernde Erkrankungen und unerwünschte Fremdbesiedlungen der torffreien Abdeckerde.

Die bisherigen Ergebnisse der Betriebsversuche deuten darauf hin, dass eine 100 % torffreie Pilzproduktion unter angepassten Klimabedingungen sowie einer auf das Material abgestimmten Bewässerung ohne Ertragseinbußen möglich ist. Allerdings wurden bisher nur zwei Pilzstämme getestet: A 15 weiß (Sylvan) und Heirloom (Amycel). Darüber hinaus wurden weitere Kulturpilze, die mit den Referenzpilzen physiologisch identisch sind, bzw. andere Stämme von Champignons mit den torffreien Abdeckerden kultiviert. Anhand der Ergebnisse dieser Versuche wird deutlich, dass für jeden Kulturpilz bzw. Stamm eine spezifische Rezeptur der Abdeckerde entwickelt bzw. optimiert werden muss. Außerdem sollten die optimalen klimatischen Bedingungen ermittelt werden. Demzufolge sind für die wirtschaftliche Produktion und Nutzung torffreien Abdeckerden für den Anbau von Champignons und anderen Kulturpilzen weitere gezielte F&E Arbeiten erforderlich.

Hinsichtlich der Abdeckerdenproduktion sind die Transport- und Lagerbedingungen der Ausgangsstoffe bekannt und benötigen keine spezifischen Anpassungen. Die Materialien sollten möglichst geschützt (evtl. überdacht) gelagert werden. Kurze Lagerzeiten sind zu bevorzugen. Diese Anforderungen entsprechen weitestgehend den Transport- und Lagerbedingungen für die Produktion von Erden und Substraten für den Garten- und Landschaftsbau.

Für auslieferfähige Abdeckerden sind Anpassungen der üblichen Lagerbedingungen notwendig, da eine Kontamination mit unerwünschter Mikrobiologie vermieden werden muss. Die Abdeckerden für die Betriebsversuche wurden jeweils am Vortag produziert und in geschlossenen Big Bags ausgeliefert. Eine Anpassung der Transport- und Lagerbedingungen im Scale-Up mit weitaus größeren Mengen (bspw. Losen Mengen) und geeigneten Lagerflächen wurde im Rahmen von MykoDeck betrachtet. Die spezifische Ausgestaltung sowie eine technische und bauliche Umsetzung müssen begleitend zu einem Scale-Up erarbeitet werden. Hierbei muss insbesondere geklärt werden, wie identifizierte Hygienisierungsmaßnahmen, eine klimageführte Kurzzeitzlagerung sowie die Weitergabe von Verwendungshinweisen und Entsorgungsmodellen an die Nutzer der Abdeckerden umgesetzt werden können. Auch hier sind noch Bewertungsfragen in Hinblick auf Energieeinsatz und Auswirkung auf die Produktqualität offen. Daraus wird sich weiteres Optimierungspotenzial ableiten.

HAP 6: Wirtschaftlichkeit, ökologische Bewertung

Für die Bewertung der ökologischen Auswirkungen (AP 6.1) durch den Einsatz von MykoDeck-Abdeckerde statt herkömmlicher Abdeckerde mit Torf wurde eine vergleichende Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 durchgeführt.

Ziel und Rahmen

Ziel der Bilanzierung waren die Ermittlung des Treibhausgaspotenziales, das durch den Einsatz von Abdeckerden in der Pilzzucht freigesetzt wird, sowie des Einsparpotenzials durch den Einsatz der torffreien Variante. Dabei sollten alle Emissionen, die durch Herstellung, Transport und Entsorgung von Abdeckerden entstehen, erfasst werden. Dies beinhaltet auch die THG-Fußabdrücke (Vorketten) von Rohstoffen und Zuschlagstoffen, welche für die Herstellung der Abdeckerden notwendig sind.

In Abbildung 56 sind sowohl für das Referenzverfahren (mit Torf) als auch für das MykoDeck-Verfahren die **Systemgrenzen** der durchgeführten Bilanz farblich hinterlegt. Im Unterschied zu Herstellung, Transport und Entsorgung/Verwertung der Abdeckerden nach Einsatz bei der Pilzzucht, wurden die Aufwendungen und Emissionen während der Pilzzucht nicht berücksichtigt, da davon auszugehen ist, dass beide Abdeckerden dabei einen sehr ähnlichen Einfluss haben.

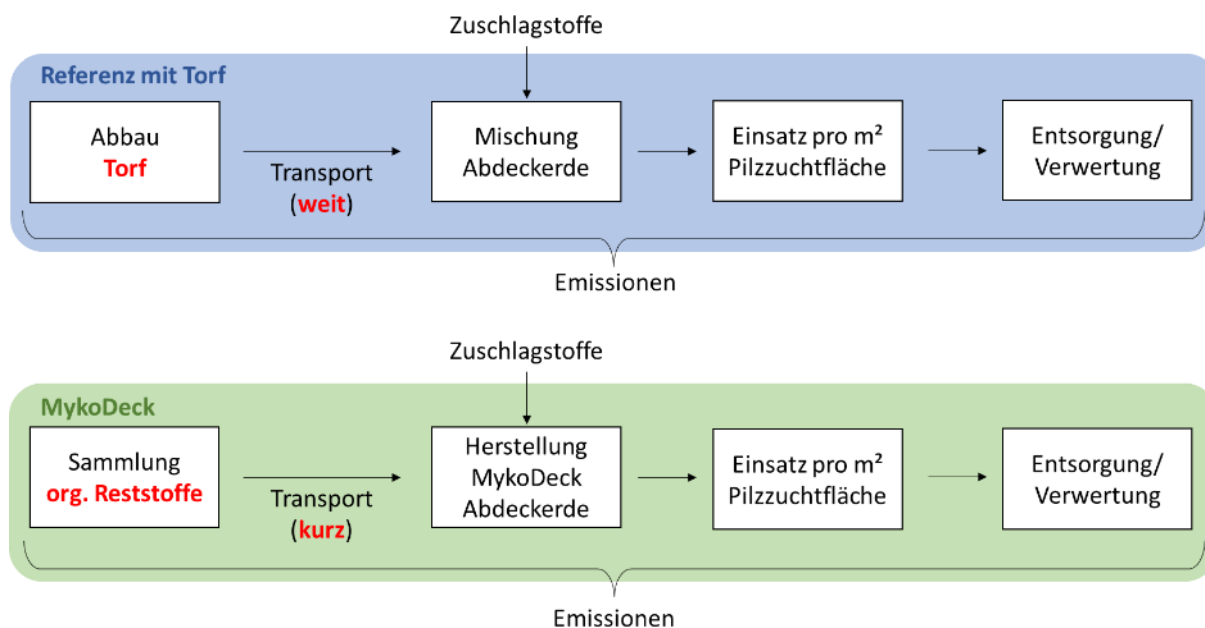


Abbildung 56: Systemgrenzen für die Betrachtung der Ökobilanz (IKTS)

Als **funktionelle Einheit** wurde 1 m² Pilzzuchtfläche ausgewählt. Das bedeutet, dass alle Flüsse der Sachbilanz auf die Menge Abdeckerde bezogen werden, welche für 1 m² Pilzzuchtfläche benötigt wird. Die organischen Reststoffe, welche für die Herstellung der Mykodeck-Abdeckerde benötigt werden, bringen selbst keinen THG-Fußabdruck mit in das System, da es sich um Reststoffe handelt, welche nicht extra hergestellt werden müssen.

Modell und Sachbilanz

Mit Hilfe der Software Umberto LCA+ (v10) wurde für beide Verfahren ein Modell für den Lebenszyklus der Abdeckerde erstellt. In Abbildung 57 ist dieses Modell beispielhaft für die herkömmliche Abdeckerde mit Torf dargestellt. Rot beschriftete Prozesse beinhalten Datensätze aus der Ecoinvent Datenbank (v3.8). Für Prozesse, welche nicht in der Datenbank zu finden sind, wurden Literaturwerte (insbesondere Eymann et al. 2015) verwendet und mit eigenen Zahlen zur Zusammensetzung der Abdeckerden ergänzt.

Für beide Vergleichsverfahren wurde davon ausgegangen, dass die Abdeckerde nach dem Einsatz in der Pilzzucht landwirtschaftlich oder gartenbaulich verwertet wird. Aus diesem Grund wurden für beide Verfahren die bei dieser Verwertung freigesetzten Emissionen in der Bilanz berücksichtigt. Beim Torf ist dies laut Eymann (2015) vor allem die Freisetzung von fossilem CO₂ durch die Zersetzung des Torfes.

In Abhängigkeit von Einsatzstoff und Herstellung werden auch bei der MykoDeck-Abdeckerde zusätzliche Treibhausgase freigesetzt, welche ebenfalls berücksichtigt wurden. Die reine Umsetzung von Kohlenstoff in CO₂ wurde hier jedoch nicht als THG-wirksam angesetzt, da es sich um Reststoffe biogenen Ursprungs handelt.

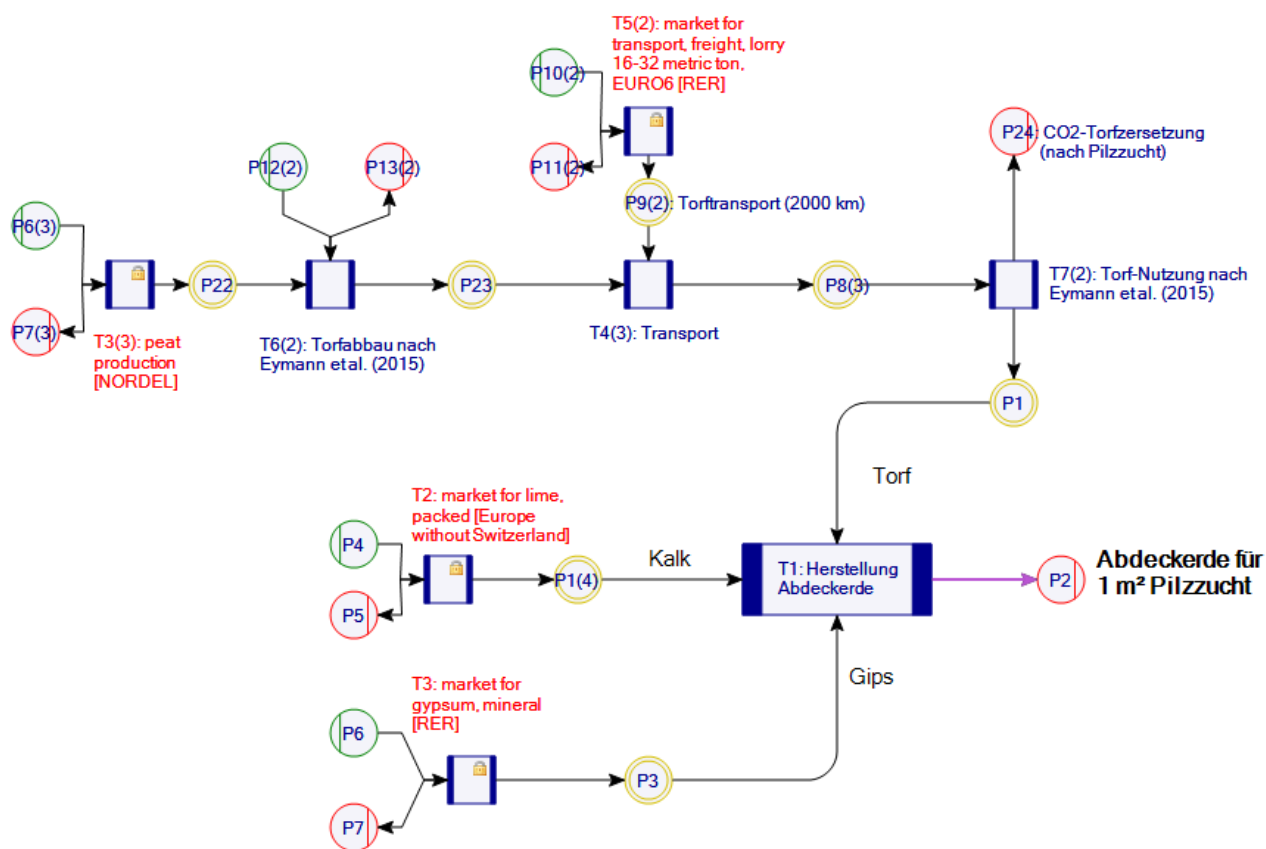


Abbildung 57: LCA-Modell für Abdeckerde mit Torf (Referenz)(IKTS)

Wirkungsabschätzung

Auf Basis der Ergebnisse der Sachbilanz wurde das Treibhauspotenzial (Global Warming Potential, GWP) nach der Methodik des IPCC über einen Zeitraum von 100 Jahren berechnet. Daraus ergibt sich für das **herkömmliche Torfprodukt ein THG-Potenzial von 12,87 kg CO₂-äq. pro m² Pilzzuchtfläche**. In Abbildung 5857 ist dafür das Sankey-Diagramm angegeben. Es wird ersichtlich, dass Zuschlagstoffe, wie Kalk und Gips nur einen sehr kleinen Effekt auf die THG-Bilanz haben (sehr dünne Linien). Der größte Einfluss stammt aus der Zersetzung des fossilen Kohlenstoffs im Torf nach der Nutzung für die Pilzzucht. Die großen Transportentfernungen von Torf sowie die Folgen des Abbaus tragen ebenfalls zur Erhöhung der THG-Bilanz bei.

Die torffreie Abdeckerde nach **MykoDeck erzeugt ein THG-Potenzial von 6,91 kg CO₂-äq. pro m² Pilzzuchtfläche**. Damit kann eine Einsparung von ca. 50 % an THG-Potenzial durch den Ersatz des herkömmlichen Produktes erreicht werden.

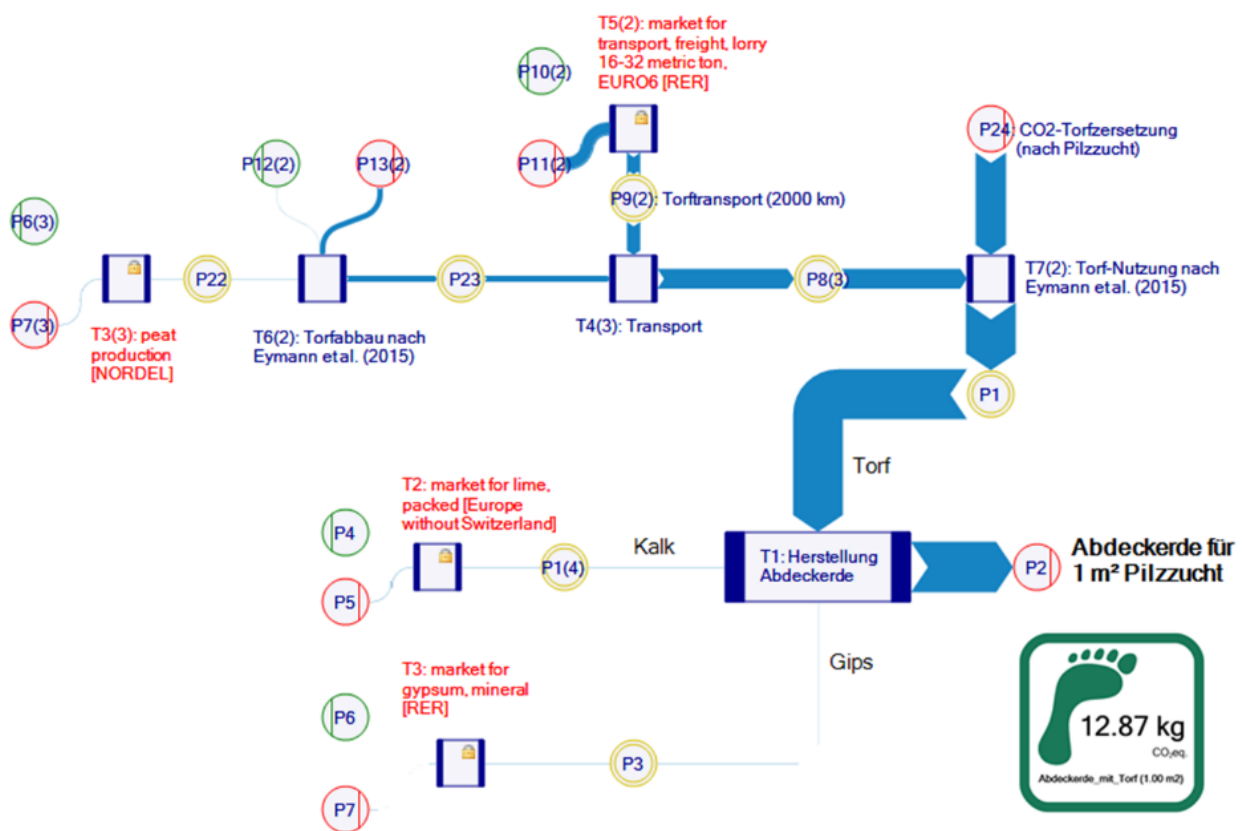


Abbildung 58: Sankey-Diagramm THG-Potenzial nach IPCC 2013 für Abdeckerde mit Torf (Referenz) (IKTS)

Im **AP 6.2** wurde die ökonomische Bewertung vorgenommen, um die monetären Auswirkungen in der Champignonproduktion, die sich durch den Einsatz von torffreien Abdeckerden ergeben, beziffern zu können. Analog zur ökologischen Betrachtung erstreckt sich der Bezugsrahmen der ökonomischen Bewertung über die Materialbeschaffung bis hin zum fertigen Produkt torffreie Abdeckerde. Die Kosten für die Logistik vom Erdenwerk zum weiterverarbeitenden Substratbetrieb bzw. zum Pilzproduzent wurden nicht einbezogen. Diese Kosten werden tagesaktuell und kundenspezifisch gesondert abgerechnet. Referenzprodukt ist die marktübliche torfbasierte Abdeckerde. Die Recherche von aktuellen Preisen für torfhaltige Abdeckerden stellte sich als herausfordernd heraus. In den sehr unterschiedlichen erhaltenen Preisinformationen sind meist Transportkosten und/oder Mindermengen enthalten und lassen sich somit schwer vergleichen. Zudem werden aus Wettbewerbsgründen nur wage Angaben oder keine konkreten Zahlen genannt. Literaturquellen sind auch äußerst dürftig. Es wurde deshalb versucht, aus dem vorhandenen Datenmaterial und vielen persönlichen Gesprächen eine

Abschätzung ohne Transportkosten und Mindermengen zu ermitteln. Die Preise für konventionelle Abdeckerden liegen unter dieser Prämisse bei netto-Preisen zwischen 65 bis 90 €/m³ Abdeckerde.

Die Kalkulation der torffreien Abdeckerden mit Berücksichtigung geeigneter Produktionsmittel (technisches Upscaling) besteht im Wesentlichen aus den Kosten für die Substratherstellung (Grundmischung), verschiedenen Zuschlagstoffen, der Zugabe von spezifischen Mikroorganismen (SMS) und Kosten zur Aufbereitung und Hygienisierung der verkaufsfertigen Abdeckerde. Diese summieren sich aktuell auf rund 92 €/m³. (Abbildung 59) Aus heutiger Sicht könnte bei entsprechender Skalierung und mit derzeitiger Kostenstruktur eine Markteinführung mit einem Mehraufwand von 10 bis 20 % des torfhaltigen Vergleichsmaterials erfolgen.

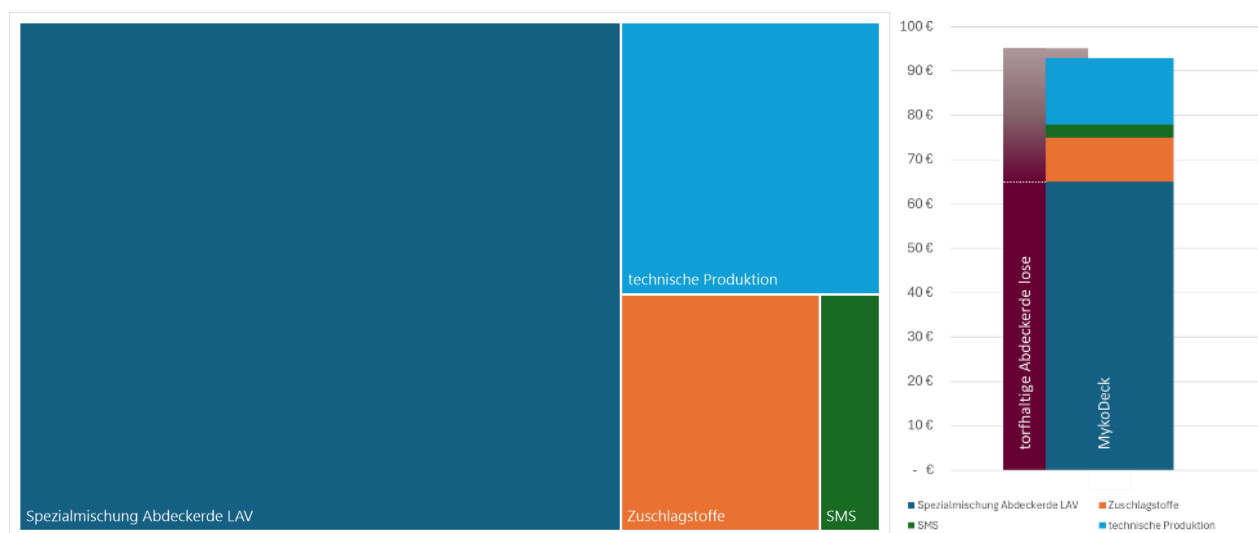


Abbildung 59: monetäre Zusammensetzung und ökonomische Bewertung konventioneller und torffreier Abdeckerden für die Champignonzucht (IKTS)

Die benötigten Materialien für eine torffreie Abdeckerde sind aktuell am Markt verfügbar und stellen kein Hindernis für die angestrebte Skalierung dar. Die Produktion der speziellen Mikroorganismen für das Spezialsubstrat muss in einen technischen Maßstab überführt werden. Dieser Schritt muss im Folgenden noch erfolgreich skaliert werden. Die aktuell von Deutschland benötigte Menge von rund 50.000 t Abdeckerde pro Jahr könnte stofflich abgedeckt werden, wenn die technologische Maßstabsvergrößerung für die Aufbereitungs- sowie Misch-, Dosier- und Homogenisierungsprozesse gelingt.

Ein Lager- und Logistikkonzept für torffreie Abdeckerden wurde im Rahmen einer theoretischen Betrachtung in Anlehnung an Konzepte für Erdenwerke im Garten- und Landschaftsbau und Erdenwerken für Sackware im Zielmarkt Groß- und Einzelhandel/ Baumärkte erörtert. Die noch nicht abgeschlossene Skalierung der Produktion und deren Auswirkungen auf Logistik- und Lageranforderungen setzen hier Grenzen. Üblicherweise werden Abdeckerden just-in-time produziert und ausgeliefert. Aufgrund der Volumina und der biologischen Aktivität ist eine Lagerung bevorzugt zu vermeiden. Kleinere Pufferkapazitäten sollten in sauberen, geschlossenen und möglichst temperaturgeführten Räumen für kurze Zeiträume von wenigen Tagen gelagert werden können. Eine ausführliche Betrachtung kann erst in einem möglichen weiterführenden Projekt erörtert werden.

2. Verwertung

a) Erfindungen / Schutzrechtsanmeldungen

Die Sicherung der Domains <http://www.mykodeck.de> und <http://www.mykodeck.com> ist erfolgt (LAV). Eine Prüfung zum Schutz der Markenrechte am Projektakronym »MykoDeck« wird geprüft (LAV). Vorbereitungen zu einer eventuellen Markteinführung sind seitens der LAV in Bearbeitung.

b) Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Weltweit werden jährlich 51,2 Mio.t Pilze rund 60 verschiedener Arten angebaut, davon 93,3 % in China. Der Gesamtmarktwert von Pilzen und Pilzerzeugnissen belief sich im Jahr 2020 auf 45,42 Mrd. US-\$, wovon 24,53 Mrd. US-\$ (54 %); auf essbare Kulturpilze entfielen (Niego et al. 2023). Bis 2030 wird der globale Markt für Kulturpilze mit einer jährlichen Wachstumsrate von ca. 10 % auf 115,8 Mrd. US-\$ (GVR 2023) anwachsen. Im Jahr 2021 wurden in Deutschland 90.050 t/a Kulturpilze, davon 85.000 t/a Champignons), produziert (www.pilzbau.de/statistik.html). In der einheimischen Champignon-Produktion werden somit jährlich ca. 250.000 t /a Kompostsubstraten und ca. 55.000 t/a Abdeckerden (auf 100 kg frisches Substrat ca. 20 kg Abdeckerde, 80 % Wassergehalt) benötigt. Die Anzahl der pilzproduzierenden Betriebe, die Produktionsmenge pro Betrieb und die Vielfalt der angebauten Pilzarten nimmt zu. Es handelt sich damit um ein Segment der Lebensmittelproduktion mit wachsendem Markt. Insbesondere wird bei den alternativen torffreien Abdeckerden, in Folge des politisch und gesellschaftlich getriebenen Ausstiegs aus der Torfverwendung, mit hohen Wachstumsraten gerechnet. Nach Angaben der Universität Wageningen in den Niederlanden muss die Menge der Kultursubstrate in den nächsten 30 Jahren um 332 % steigen, um den Nahrungsmittelbedarf einer wachsenden Weltbevölkerung zu decken (IVG 2023). Die Nachfrage nach Torf bzw. Torfersatzstoffen wird sich unter diesen Entwicklungsprognosen in etwa verdoppeln.

Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten werden durch die bisher erzielten positiven Projektergebnisse weiterhin als sehr gut eingeschätzt. Die Einkaufspreise für die Rohstoffe (Stroh und Laubholzspäne) für die Basis-substrate sowie Torf für die Abdeckerde sind in den letzten Jahren bereits gestiegen (Zinke 2019), was die vorhergesehene Nachfragesteigerung untermauert. Aufgrund dieser preislichen Entwicklung zeigt sich die Kulturpilzproduktion als immer kostspieliger. Deshalb wird die Optimierung von Rezepturen und Herstellungsverfahren für neuartige, torffreie Abdeckerden zur volumenrelevanten Produktion von Champignon auf Basis organischer Reststoffe der Schlüssel zu einer erfolgreichen Marktplatzierung von MykoDeck-Abdeckerden sein.

Der Projektpartner LAV verfügt mit positivem Projektabschluss von MykoDeck über wesentliche Alleinstellungsmerkmale, die für eine erfolgreiche Positionierung des Produktes auf dem Markt erforderlich sind. Bei erfolgreicher technischer Skalierung und Iteration der innerhalb des Vorhabens erzielten Ergebnisse rechnet das Unternehmen mit kurzfristig erreichbarer maximaler Auslastung der bestehenden Produktionskapazitäten und langfristig mit einer Erweiterung und weiterer technischer Spezialisierung der Produktionsanlagen. Durch die Diversifizierung des Portfolios und den genannten Ausweitungsperspektiven können vorhandene Arbeitsplätze gesichert und mittel- und langfristig zusätzliches Personal aufgebaut werden.

c) Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Die in MykoDeck erzielten Ergebnisse bestätigen, dass eine um 50 % reduzierte bis hin zu einer torffreien Champignonproduktion bei Umsetzung spezifischer Verfahren bzw. Maßnahmen mindestens im technischen Maßstab möglich ist (Rangno, 2023). Zu den Voraussetzungen gehören die Verfügbarkeit von Rohstoffen sowie die Anpassung der Maschinenteknik an die Ausgangsstoffe und Rezepturen. Auch aufgrund der erhöhten Anforderungen der Bio-Pilzproduktion sollten Abdeckerden in Deutschland und in Europa aus regionalen Roh- und Reststoffen der Holzindustrie und der Landwirtschaft aus ökologischer Erzeugung hergestellt werden. Darüber hinaus gilt es, die klimatischen Bedingungen und die Bewässerung anzupassen. Erfolgsfaktor ist

zudem, dass die Erträge mindestens vergleichbar zur Verwendung torfbasierter Abdeckerden ausfallen. Die bisher erreichten Qualitäten der Speisepilze sind sicherzustellen. Zudem sollen Produktionszeit und Kosten nicht weiter steigen. Schließlich ist die Bereitschaft der Pilzbetriebe, bei der Durchführung der Forschungsarbeiten mitzuwirken, wesentlich. Mit MykoDeck konnten Perspektiven aber auch noch zu adressierende Nachteile identifiziert werden. Diese Hemmnisse können durch Entwicklung und Erprobung verfahrenstechnischer Lösungen und Kultivierungsmaßnahmen gelöst werden. Um dies zu erreichen, sind weitere Forschungsarbeiten erforderlich, die im Rahmen des Projekts MykoDeck bis 07/2024 nicht abgeschlossen werden konnten. Die wissenschaftlich-technischen Erfolgsaussichten werden als sehr gut bewertet. Diese Einschätzung resultiert einerseits aus dem Umstand, dass die beteiligten Projektpartner ausgewiesene und zum Teil unikale Expertise auf den zu bearbeitenden Fachgebieten besitzen und sich damit im Konsortium komplementär ergänzen. In der Summe ergibt sich die hohe Wahrscheinlichkeit, dass im Rahmen eines Folgeprojektes ein Gesamtkonzept bestehend aus dem Produktionsprozess der torffreien Abdeckerden sowie den erforderlichen Anpassungen des Produktionsprozesses von Champignons für den Umstieg auf torffreie Abdeckerden entwickelt wird.

Zur Realisierung solcher Modell- und Demonstrationsuntersuchungen, sind umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsaufgaben beim den Projektpartnern sowie bei Referenz- und Modellbetrieben erforderlich. Trotz sorgfältiger Planung der Versuche, einer detaillierten Ausarbeitung des Projektantrages sowie dem Vorhandensein von Vorkenntnissen zum zu bearbeitenden Thema sind die aufgestellten Arbeitsschwerpunkte teilweise mit einem hohen technischen und wirtschaftlichen Risiko verbunden. Bieker (2017) sieht vor allem folgende Hindernisse und Hemmnisse einer Einführung und Akzeptanz von torfreduzierten und torffreien Substraten:

- biologische Gründe:
 - keine artspezifischen Abdeckerden verfügbar
 - Auswirkung einzelner Fremdkeime (Pilze und Bakterien) auf Referenzpilze wenig bekannt
 - Qualitätssicherung der Keimbelastung der Abdeckerden ist bislang unzufriedenstellend bzw. fehlt
 - Synergismen und Antagonisten der Referenzpilze kaum erforscht
- chemische Gründe:
 - Zusammensetzung der Inhaltstoffe in Abdeckenden je nach Hersteller variabel
 - Qualitätssicherung der Abdeckenden nicht zufriedenstellend
 - artspezifische Empfehlung für den Pilzanbau fehlt
- technische Gründe:
 - kritische Substrateigenschaften, z. B. ungünstige pH-Werte, unkalkulierbare Nährstofffestlegungen, Schadstoffbelastungen, fehlende Strukturstabilität
- psychologische Gründe:
 - fehlende Bereitschaft seitens der Anwender von pflanzenbaulich bewährten und derzeit (noch) vergleichsweise billigen und gut verfügbaren Substraten auf torffreie Alternativen zu wechseln
 - langjährige Erfahrungen fehlen
- ökonomische Gründe:
 - Torfersatzstoffe zurzeit nicht zuverlässig verfügbar
 - Preisentwicklung der alternativen Ausgangsstoffe (Tendenz steigend), steigende Nachfrage für energetische und / oder stoffliche Nutzung
 - Anpassungen der Produktionspraxis (z. B. Düngung und Bewässerung)
 - Risiko von Produktionsrückgang beim Einsatz von neuen Substraten

Durch die gezielte Entwicklung von Torfersatzstoffen im Rahmen von MykoDeck konnte bereits ein Teil der beschriebenen Hemmnisse, insbesondere bei der Herstellung sowie bei der Einstellung der physikalischen und biologischen Eigenschaften im technischen Maßstab abgebaut werden. Die Resultate bilden eine solide Basis für ein Modell- und Demonstrationsvorhaben, das sich v. a. mit den aufgeführten psychologischen, ökonomischen und mit der technischen Skalierung verbundenen Hemmnissen befassen sollte. Begleitend würde ein weiterer Schwerpunkt auf die Qualitätssicherung zu legen sein, die v. a. auch die heterogenen Bedingungen

der Rohstoffbeschaffung bis hin zur betriebsspezifischen Ebene in der Champignonproduktion und den Qualitätsvorstellungen des Handels und der Verbraucher reflektieren muss.

Die beteiligten Projektpartner konnten im Forschungsprojekt MykoDeck sehr gute Kontakte zu Transferpartnern aus dem Pilzanbau sowie zum Bund Deutscher Champignon- und Kulturpilzbauer (BDC) e.V. aufbauen. Demzufolge können im gegenseitigen Erfahrungsaustausch und im Ergebnis der Laboruntersuchungen praxisnahe Lösungen für die Entwicklung der Abdeckerden für den Pilzanbau erarbeitet werden. Darüber hinaus haben sich mehrere Produktionsbetriebe an Versuchen im praxisrelevanten Maßstab interessiert gezeigt.

d) Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Der Wissens- und Technologietransfer erfolgte während des Projektes durch fachübergreifende Vernetzung von Forschung und Industrie gemeinsam mit den Projektpartnern. Die Verwertung der Projektergebnisse entsteht spezifisch bei den Substratherstellern und Pilzproduzenten. Beide Formate werden auch nach Projektabschluss weitergeführt.

Im Rahmen von Veröffentlichungen bei Workshops, Expertenrunden und öffentlichen Auftritten (z. B. Tagungen und Messen) wurden die Projekteinhalte und Ergebnisse zum Projekt MykoDeck unter Nutzung der Mitglieder-Netzwerke des Konsortiums regelmäßig kommuniziert (Tabelle 27). Ebenso wurden die Projektergebnisse (soweit schutzrechtlich möglich) bereits während der Projektlaufzeit an Transferpartner sowie weiteren potenziellen Nutzern im Rahmen von Projektberatungen sowie Veröffentlichungen weitergegeben.

Weiterhin dienen die in öffentlich geförderten Projekten erarbeitete Projektergebnisse als Grundlage für weitere Forschungsprojekte, und sind ein wichtiger Zwischenschritt auf dem Weg von Forschungsarbeiten zur konkreten Umsetzung in die Praxis (Technologietransfer). Gerade diese Ergebnisse bilden die Basis für weitere Aufträge aus der Wirtschaft zur konkreten Umsetzung in neue Produkte oder Verfahren. Der Bekanntheitsgrad der beteiligten Projektpartner wird dadurch gestärkt. Applikationsmöglichkeiten der Projektergebnisse ergeben sich in folgenden Branchen:

- **Biotechnologie:**
 - Selektion und Bereitstellung leistungsfähiger Stämme für Pilzanbau, Gesundheit, Ernährung und Kosmetik
 - Entwicklung der Kultivierungsverfahren für neue Pilzarten
 - Entwicklung der Verfahren zur Bestimmung und zur Isolierung der wertvollen Pilzinhaltsstoffe (Proteine, Enzyme, Polysaccharide, Vitamine u. a.)
 - Bereitstellung der Antagonisten und Synergisten für verschiedene Anwendungen
- **Rohstoffwirtschaft:**
 - Entwicklung präziser, praxisrelevanter Bewertungs- und Charakterisierungsmethoden für die Nutzung von Rohstoffen zur Pilzproduktion
- **Landwirtschaft, Gartenbau und vorgelagerte Industrie**
 - Herstellung von neuartigen Boden- und Kultursubstraten
 - Produktion von Kulturpflanzen auf Basis neuartiger Pilzsubstrate
 - Bereitstellung von neuen Düngemitteln aus der Pilzproduktion
 - Entwicklung der Verfahren zur Pilz-Dekontaminierung in schadstoffbelasteten Böden
- **Kreislaufwirtschaft:**
 - Erschließung neuer Einsatzbereiche für Reststoffe
 - Recycling ligno-zellulosehaltiger Reststoffe für die Energiegewinnung

Der positive Projektabschluss ermutigt den Projektpartner LAV weitere Schritte zur Erweiterung des Produktportfolios zu gehen und als erster Marktteilnehmer torffreie Abdeckerden auf den Markt bringen. Die wissenschaftlichen Einrichtungen konnten neben weiteren Forschungsprojekten ihr Analytik-, Methoden- und Bera-

tungsportfolio bereits erweitern und werden diesen Weg weiterverfolgen. Für die Umsetzung der Projektergebnisse konnten somit gute wissenschaftliche und wirtschaftliche Erfolgsaussichten und Anschlussfähigkeit geschaffen werden.

e) Stand der Erreichung der Verwertungsoptionen, Forschungsdaten

Gemäß Arbeitsplan wurden die Arbeitspakete 1 bis 7 in den 36 Monaten im geplanten Umfang bearbeitet. Alle Meilensteine wurden erreicht. Arbeiten, die nicht zu einer Lösung geführt haben, sind im Projekt nicht aufgetreten. Während des gesamten Forschungsprozesses wurde eine Dokumentation erstellt, um die Entstehung und Veränderung der Daten nachvollziehen zu können. Die Daten wurden während der Projektbearbeitung in Projektordnern auf den Servern der Projektpartnern gespeichert. Die Labornotizen, Protokolle und andere Projektunterlagen wurden ebenfalls gesammelt und aufbewahrt. Darüber hinaus wurden die relevanten Projektdaten als Roh- und Metadaten in das von den IKTS-Projektpartnern erstellte Cloud-System (z. B. OneDrive) gespeichert.

3. Erkenntnisse von Dritten

Die Schweizer CORMO AG untersuchte im Rahmen eines Forschungsprojektes den Einsatz von torffreien Abdeckerden (TEFA) auf Basis von Maisstroh in der Champignonproduktion. Das Maisstroh wird nach einem patentierten Verfahren zunächst zerkleinert, wobei anschließend die fasrige Stängelrinde vom schaumartigen Kern getrennt wird. Der Kern wird anschließend zu einem superadsorbierendem Pellet und die Stängelrinde zu nährstoffarmen Fasermaterial weiterverarbeitet (Grass 2020).

Nach Angaben des Herstellers sind die Erträge mit der von ihm entwickelten TEFA-Abdeckerde vergleichbar bzw. 10 % höher als mit der torfbasierten Abdeckerde (Thaler 2021). Bei genauer Betrachtung stellte sich heraus, dass die Versuche nur mit 30 % bzw. 50 % der torffreien TEFA-Abdeckerde durchgeführt wurden. Die Ergebnisse wurden als unbefriedigend eingeordnet. Die Erträge der gemischten Varianten waren im Vergleich zu den torfhaltigen Abdeckerde gering. In eigenen Untersuchungen wurden zahlreiche Fremdpilze wie *Coprinus cordisporus*, *Peziza ostracoderma* und *Lodophanus* sp. in Mischungen gefunden (2. ZWB MykoDeck 2023).

Philippsen Eric (2024) stellte im Rahmen der BDC Jahrestagung am 26. bis 28. September 2024 die Futuro-Deckerde der Firma Legro vor. Hierbei handelt es sich um eine torfreduzierte Abdeckerde, wobei bis zu 30 % durch alternative Rohstoffe, bestehend aus sterilisierten verbrauchten Pilzkomposten sowie Holzfasern, eingesetzt werden. Zur pH-Wert-Einstellung wird der Mischung Kalk zugegeben. Diese Mischung hatte sich im Rahmen von Vergleichsuntersuchungen gegenüber dem Cormo-Substrat aus Mais durchgesetzt. Die Versuche mit dem Cormo-Substrat mussten auf Grund von Krankheiten frühzeitig abgebrochen werden.

In einer kürzlich durchgeführten Studie von Noble und Dobrovin-Pennington (2024) wurde festgestellt, dass der Austausch von gemahlenen oder nassgegrabenen Torfmischungen durch 25 % v/v Rinde, Grünabfallkompost oder thermisch behandelte, abgetragene Abdeckerde zu einer Verringerung des Pilzertrags führt. Jeder Rohstoff hat spezifische Vor- und Nachteile, und die chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften müssen gut verstanden werden. Außerdem können sich die Eigenschaften verändern, wenn die Materialien gemischt werden.

Im Rahmen des Projektes BIOSCHAMP wurden torfreduzierte Abdeckerden entwickelt und in Betriebsversuchen getestet. Als Torfersatz wurden im Rahmen des Projektes Gras, Grüngutkompost, Sphagnum-Moos, verbrauchtes Pilzsubstrate sowie unterschiedliche Mischungen aus den Stoffen eingesetzt. Ziel war 50 % Ersatz von Torf durch diese alternativen Materialien. Gras- und Moosfasern zeigten hierbei die besten Ergebnisse. Im Rahmen der Betriebsversuche konnten vergleichbare Erträge wie mit den Abdeckerden aus 100 % Torf erzielt werden. Es zeigte sich aber auch, dass in einigen Betrieben die Bewässerung an das neue Substrat anzupassen war. (Peeters 2024)

Die Recherche konnte zeigen, dass zurzeit keine torffreien Abdeckerden am Markt verfügbar sind und das voraussichtlich bei torffreien bzw. torf reduzierten Abdeckerden auch die Produktionsbedingungen (z. B. Bewässerung) anzupassen sind. Dies bedeutet, dass für einen Torfausstieg noch erheblicher Forschungsbedarf besteht.

4. Veröffentlichungen

Die Projektergebnisse wurden während der Projektlaufzeit (und darüber hinaus) über unterschiedliche Kanäle durch die Projektpartner kommuniziert. Tabelle 27 gibt einen Überblick über die Veröffentlichungen und Aktivitäten.

Tabelle 27: Veröffentlichungsübersicht Projekt MykoDeck

Titel	Art	Datum	Ort	Link
Einsatz abgetragener Pilzsubstrate aus Speisepilz-Produktion für die Herstellung von alternativen Erden (MykoErden)	Vortrag	01.10.2021	73. Jahrestagung des Bundes Deutschen Champignon- und Kulturpilzanbauer (BDC) e.V. in Berlin	https://der-champignon.de/termine-veranstaltungen/das-potenzial-von-pilzsubstraten-nutzen/
Entwicklung torffreier Abdeckerden für Champignon und andere Kulturpilze (MykoDeck)	Vortrag	16.12.2021	Informationsaustausch zur Torfminderung in Deckerden bei der Produktion von Champignons – online	
IHD-Pressemitteilung zum Projekt MykoDeck „Entwicklung torffreier Abdeckerden für Champignons und andere Kulturpilze“	Pressemitteilung IHD	01.02.2022	Dresden	https://www.ihd-dresden.de/fileadmin/user_upload/pdf/IHD/Aktuelles/Presse/2022/PI_Rangno_MykoDeck.pdf
BDC-Treffen bei Pilzkulturen Wesjohann GbR	Vortrag	23.03.2022	BDC-Treffen bei Pilzkulturen Wesjohann GbR in Visbek-Rechterfeld	https://der-champignon.de/substrate-duengung/torf-in-champignon-deckerden-alternativen-gesucht/
Champignons ohne Torfeinsatz erfolgreich züchten	Pressemitteilung	20.04.2022	FNR-Mitteilung	https://www.fnr.de/projektfoerderung/ausgewaehlte-projekte/projekte/champignons-ohne-torfeinsatz-erfolgreich-zuechten
Entwicklung torffreier Abdeckerden für Champignon und andere Kulturpilze (MykoDeck)	Vortrag	16.05.2022	Vorstands- und Beiratssitzung des Bund Deutscher Champignon- und Kulturpilzanbauer (BDC) e.V. in Hannover	
Torffreie Abdeckerden für eine nachhaltige Champignonzucht	Blog-Beitrag	18.07.2022	IKTS-Blog	Torffreie Abdeckerden für eine nachhaltige Champignonzucht - Fraunhofer IKTS
Verwendung von abgetragenen Substraten	Vortrag	25.10.2022	Hessischen Pilztagen in Uden, Niederlande	
Development of peat-free casing soils for mushroom and other cultivated mushrooms - MykoDeck	Vortrag	04.04.2023	FNR-Online-Workshop „Off the peat path-Alternative substrates for mushroom cultivation“	https://www.fnr.de/presse/pressemitteilungen/aktuelle-mitteilungen/aktuelle-nachricht/off-the-peat-path-workshop-zur-torfminderung-in-europa
Entwicklung torffreier Abdeckerden für Champignons und andere Kulturpilze	Vortrag	29.09.2023	75. Jahrestagung des Bundes Deutschen Champignon- und Kulturpilzanbauer (BDC) e.V. in Heilbronn	https://der-champignon.de/projekt-mykodeck-erste-ergebnisse-von-praxisversuchen-mit-torfreduzierten-und-torffreien-abdeckerden-vorgestellt/
PROJEKT: Entwicklung torffreier Abdeckerden für Champignon und andere Kulturpilze	Projektpräsentation	07.11.2023	Moorschutzdatenbank - MoorNet	Entwicklung torffreier Abdeckerden für Champignon und andere Kulturpilze MoorNet (moor-net.de)

Titel	Art	Datum	Ort	Link
MykoDeck - Entwicklung torffreier Abdeckerden für Champignons und andere Kulturpilze	Vortrag	06.12.2023	Workshopreihe „Torfminderung im Erwerbsgartenbau“ - online	
Projekt MykoDeck: Erste Ergebnisse von Praxisversuchen mit torfreduzierten und torffreien Abdeckerden vorgestellt	Beitrag	08.12.2023	BDC News	https://der-champignon.de/projekt-mykodeck-erste-ergebnisse-von-praxisversuchen-mit-torfreduzierten-und-torffreien-abdeckerden-vorgestellt/
Wie Pilze besser wachsen	Interview	15.01.2024	Sächsische Zeitung	https://www.saechsische.de/gesundheit/wie-pilze-besser-wachsen-F3WOCTLN5MV5RGMK55US3GQ6DY.html
Entwicklung und industrielle Nutzung von Pilzsubstraten – Stoffkreislauf in der Zukunft	Publikation	03.2024	HOLZTECHNOLOGIE JAHRGANG 65, AUSGABE 3/2024	holztechnologie kaufen IHD Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH
Entwicklung torffreier Abdeckerden für Champignons und andere Kulturpilze. Zwischenergebnisse des FNR-Projekts MykoDeck	Vortrag	16.05.2024	Vorstands- und Beiratssitzung des Bund Deutscher Champignon- und Kulturpilzanbauer (BDC) e.V.	
Besichtigung/Zwischenergebnisse für BDC im Pilzhof Wallhausen	Fachgespräch	05.06.2024	Pilzhof Wallhausen	
Forscher entwickeln torffreie Erde	Zeitungsartikel	18.06.2024	Freie Presse Marienberg	
Champignonzucht – Gibt es Alternativen zu Torf?	News	12.09.2024	FNR-News (online)	Champignonzucht – Gibt es Alternativen zu Torf? (fnr.de)
 Champignonzucht – Gibt es Alternative zu Torf? 12.09.2024 · alles wissen · hr	Fernsehbeitrag	12.09.2024	alles wissen hr	https://www.ardmediathek.de/video/alles-wissen/champignonzucht-gibt-es-alternative-zu-torf/hr-fernsehen/NWZIZmI2NjUtZjExYS00NDk3LTljMWMtZDY2ZWm4MzQxN2Rj

Titel	Art	Datum	Ort	Link
 Forscherin entwickelt Torf-Alternative für Pilzzucht ·	Fernseh- beitrag	25.09.24	MDR SACHSENSPIEGEL	Forscherin entwickelt Torf-Alternative für Pilzzucht Der Abbau von Torf ist klimaschädlich, weshalb er ab 2030 in Deutschland verboten sein soll. Das stellt die Pilzzucht vor ein Problem, sie ist bislang... By MDR Sachsen Facebook
 Neue Wege bei der Pilzzucht 30.09.2024 · MDR um 2 · MDR	Fernseh- beitrag	30.09.2024	MDR um 2	https://www.ardmediathek.de/video/mdr-um-2/neue-wege-bei-der-pilzzucht/mdr-fern-sehen/Y3JpZDovL21kci5kZS9iZWl0cmFnL2Ntcy8yYjdhM2VhNS02OTc2LTQwMGMtYjAzYS1hOTM0YWU5ZTIiYTA
IHD-Pressemitteilung zum Projekt MykoDeck „Entwicklung torffreier Abdeckerden für Champignons und andere Kulturpilze“	Newslette r 38	10.2024	Dresden	https://www.ihd-dresden.de/de/aktuelles/ihdeph-newsletter/
Development of peat-free casing soils for mushroom and other cultivated mushrooms - MykoDeck	Vortrag	01.10.2024	Online - Austausch zur Entwicklung von Torfersatzstoffen Dtl. - Irl.	

Zudem haben weitere Online-Portale die verfügbaren Informationen über das MykoDeck-Projekt veröffentlicht:

<https://www.gabot.de/ansicht/champignons-alternative-torfdeckerden-gesucht-416584.html>, veröffentlicht am 13.05.2022

<https://biooekonomie.de/nachrichten/neues-aus-der-biooekonomie/torffreie-abdeckerden-fuer-die-pilzzucht#:~:text=Hier%20setzt%20das%20Projekt%20MykoDeck%20an.%20Forschende%20vom>, veröffentlicht am 29.07.2022

<https://mushroombusiness.com/news/the-75th-jahrestagung-in-heilbronn/>, veröffentlicht am 05.10.2023

<https://www.freshplaza.de/article/9565900/wie-bekomme-ich-zuchtpilze-mit-so-wenig-handen-wie-moeglich-in-die-schale/>, veröffentlicht am 06.10.2023

<https://www.freshplaza.de/article/9565900/wie-bekomme-ich-zuchtpilze-mit-so-wenig-handen-wie-moeglich-in-die-schale/>, veröffentlicht am 06.10.2022

<https://www.fruchtportal.de/artikel/informativ-abwechslungsreich-und-zauberhaft-die-75-jahrestagung-der-deutschen-kulturpilzanbauer/062647>, veröffentlicht am 11.10.2023

<https://www.fruchtportal.de/artikel/informativ-abwechslungsreich-und-zauberhaft-die-75-jahrestagung-der-deutschen-kulturpilzanbauer/062647>, veröffentlicht am 11.10.2023

<https://www.freipresse.de/erzgebirge/marienbergs/die-kunden-sollen-sehen-was-sie-kaufen-glaeserne-pilzproduktion-auf-dem-erzgebirgskamm-geplant-artikel13145817>, veröffentlicht am 28.11.2023

<https://mushroombusiness.com/news/the-75th-jahrestagung-in-heilbronn/>, veröffentlicht am 25.10.2023

<https://der-champignon.de/projekt-mykodeck-erste-ergebnisse-von-praxisversuchen-mit-torfreduzierten-und-torffreien-abdeckerden-vorge stellt/>, veröffentlicht am 08.12.2023

<https://www.wirtschaft-in-sachsen.de/de/wie-pilze-wegen-einer-dresdner-erfindung-besser-wachsen/>, veröffentlicht am 30.01.2024

Internetseite: <https://www.umdiss.org/in-germany-scientists-developed-casing-soil-without-peat-that-gives-better-yields-is-it-so/>, veröffentlicht am 16.02.2024

5. Literaturverzeichnis

Amberger-Ochsenbauer, Susanne, Meinken, Elke (2020): Torf und alternative Substratausgangsstoffe. Hg. v. Bundesinformationszentrum Landwirtschaft.

EG 1881 (2006): Verordnung zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln, VERORDNUNG (EG) Nr. 1881/2006, vom 19.12.2006. Fundstelle: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006R1881>. In: Amtsblatt der Europäischen Union.

Eymann, Lea; Mathis, Alex; Stucki, Matthias; Amrein, Simon (2015): Torf und Torfersatzprodukte im Vergleich: Eigenschaften, Verfügbarkeit, ökologische Nachhaltigkeit und soziale Auswirkungen. Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. Wädenswil.

Grass, Stefan (2020): Verfahren zur Herstellung von superabsorbierenden Pellets und/oder eines Fasermaterials aus Ernteresten. Veröffentlichungsnr.: EP 3 149 085 B1.

markets and markets (2019): Mushroom Market worth \$50,034.12 Million by 2019. Online verfügbar unter <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/mushroom.asp>.

Noble, Ralph; Dobrovin-Pennington, Andreja (2024): Physicochemical characterisation of casings in relation to mushroom (*Agaricus bisporus*) cropping performance. In: *Fungal biology* 128 (2), S. 1698–1704. DOI: 10.1016/j.funbio.2024.02.004.

Oei, Peter (2016): Mushroom Cultivation IV - Appropriate technologies for mushroom growers: ECO Consult Foundation.

Peeters, John (2024): Bioschamp project to conclude successfully. In: *Mushroom Business* 125, 2024.

Philippsen Eric (2024): your blend for life. BDC Jahrestagung, 2024.

RAL (2017): Gütekriterien für Hochmoortorf als Substratausgangsstoff (RAL-GZ 250/5-2). Hg. v. Gütegemeinschaft Substrate für Pflanzen e.V.

Rangno, Natalie (2024): Entwicklung und industrielle Nutzung von Pilzsubstraten - Stoffkreislauf in der Zukunft. HOLZTECHNOLOGIE, JAHRGANG 65, AUSGABE 3/2024. In: *Holztechnologie*, 2024, S. 61–67.

Rangno, Natalie; Behrend, L.; Kath, S.; Mäbert M.; Scheiding, W. (2019): Entwicklung alternativer Substrate für die Kulturpilzproduktion aus nachwachsenden Roh- und Reststoffen (PAS). In: *Holztechnologie*, 2019 (3), S. 37–41.

Sassine, Y. N.; Ghora, Y.; Kharrat, M.; Böhme, Michael Henry (2005): Waste Paper as an Alternative for Casing Soil in Mushroom (*Agaricus bisporus*) Production. In: *Journal of Applied Sciences Research* 1, 2005, S. 277–284. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/280102016_Waste_Paper_as_an_Alternative_for_Casing_Soil_in_Mushroom_Agaricus_bisporus_Production#:~:text=Abstract:%20Three%20experiments%20were%20carried%20out%20in%20orde.

Statistisches Bundesamt (2021): Speisepilzanbau 2016 bis 2020 in Deutschland. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Obst-Gemuese-Gartenbau/Tabellen/speisepilzanbau.html>.

Stucki, Matthias; Wettstein, Sarah; Mathis, Alex; Amrein, Simon (2019): Erweiterung der Studie «Torf und Torfersatzprodukte im Vergleich» : Eigenschaften, Verfügbarkeit, ökologische Nachhaltigkeit und soziale Auswirkungen.

Taparia, Tanvi; Hendrix, Ed; Hendriks, Marc; Nijhuis, Els; Boer, Wietse de; van der Wolf, Jan (2021): Casing soil microbiome mediates suppression of bacterial blotch of mushrooms during consecutive cultivation cycles. In: *Soil Biology and Biochemistry* 155, S. 108161. DOI: 10.1016/j.soilbio.2021.108161.

Thaler, Matthias (2021): Präsentation CORMO Deckerde, 2021.

ANHANG

Teilvorhaben 1: Fraunhofer IKTS (2220MT005A)

1. Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

In Verantwortung des IKTS erfolgten die Auswahl und physikalische Charakterisierung (Wasserspeicherung, Gasaustausch, Partikelgrößenverteilung, Porenvolumen, Nährstoffverfügbarkeit) möglicher Ausgangsstoffe und Abdeckerden. Resultierend hatten diese Aufgaben Einfluss auf die gezielte Mischung der Zusatzstoffe (mineralische Bestandteile und organische Nährstoffe), um die gewünschten Eigenschaften der Torfersatzstoffe einzustellen. Auf Basis der Bewertung definierter Leitparameter und der Laborversuche zur Kultivierung der Speisepilze des Projektpartners IHD erfolgten die Entwicklung und Erprobung von Verfahren zur gezielten Aufbereitung ausgewählter Ausgangsmaterialien zu Substratmischungen. Als favorisierter Prozess hat sich die Kombination von mechanischem Aufschluss, Homogenisierung, thermischer Behandlung und Kompostierung erwiesen. Gemeinsam mit dem Projektpartner LAV erfolgten die technische Maßstabsvergrößerung und Erprobung der Herstellungstechnologien für die Konditionierung der Torfersatzstoffe sowie der Abdeckerden aus den Laboren in den technischen Maßstab.

2. Bearbeitete Arbeitspakete

Im Rahmen des Projektverlaufs wurde durch das IKTS an folgenden Arbeitspakete gearbeitet:

- 1.1 Präzisierte Zusammenstellung der chemischen, physikalischen und biologischen Anforderungen an die Materialien für Deckschichten
- 1.2 Entwicklung bzw. Anpassung der Analytik von organischen und anorganischen Inhaltstoffen
- 1.3 Chemische, physikalische und biologische Bewertung verfügbarer Abdeckmaterialien (Bewertung des IST-Standes)
- 1.4 Identifizierung und Charakterisierung der Schaderreger (Schädlinge und Krankheiten) von Referenzpilzen in Anzuchterden
- 1.5 Zusammenfassung der Anforderungen und Erstellung eines Lastenheftes und Auswahl von Leitparametern für die Torfersatzstoffe sowie der Abdeckmaterialien
- 3.1 Identifizierung und Charakterisierung möglicher Ausgangsstoffe für die Herstellung von Torfersatzstoffen
- 3.2 Entwicklung Herstellungsverfahren für Torfersatzstoffe für Abdeckmaterialien
- 3.3 Biologische, chemische und physikalische Bewertung der Torfersatzstoffe sowie der Abdeckmaterialien
- 4.1 Entwicklung eines Excel-Tools zur Ermittlung der Mengenanteile zur gezielten Einstellung der Leitparameter
- 4.2 Rezepturenentwicklung unter Nutzung und Anpassung des Excel-Tools
- 4.5 Untersuchung und Bewertung der Torfersatzstoffe und der Abdeckerden hinsichtlich der Lagerstabilität
- 4.6 Chemische, physikalische und biologische Bewertung der Torfersatzstoffe sowie der Abdeckmaterialien
- 5.1 Up-Scaling des Herstellungsverfahrens für Torfersatzstoffe sowie Abdeckerden in den technischen Maßstab beim Transferpartner Pilzhof Pilzsubstrat Wallhausen GmbH
- 5.3 Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für den Einsatz torffreier Kultursubstrate
- 6.1 Ökologische Bewertung
- 6.2 Ökonomische Bewertung
- 7 Projekttreffen, Publikation, Berichtswesen

3. Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens

Die wesentlichen Ergebnisse, zu denen das IKTS beigetragen hat, sind entlang der Hauptarbeitspakete in Kapitel »II. Ausführliche Darstellung der Ergebnisse« im Abschnitt »1 Erzielte Ergebnisse« dargestellt.

Teilvorhaben 2: LAV Erdenwerke GmbH (2220MT005B)

1. Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

Gegenstand der Arbeit der LAV Erdenwerke GmbH war die Erarbeitung eines Kompostierungsverfahrens zur Herstellung von Zuschlagstoffen bzw. von Torfersatzstoffen für Abdeckerden. Ausgehend von einem Screening potenzieller Stoffgruppen erfolgte gemeinsam mit dem IKTS die Entwicklung und Erprobung von mechanischen und biologischen Prozessen zur gezielten Umwandlung der ausgewählten Substrate. Durch einen Kompostierungsprozess (Temperaturen $>70^{\circ}\text{C}$) wird das Substrat mikrobiologisch aufgeschlossen und desinfiziert, so dass alle Fremderreger abgetötet werden. Gemeinsam mit dem Projektpartner IKTS erfolgte das Up-scaling und die Erprobung der Herstellungstechnologien der Torfersatzstoffe sowie der Abdeckerden in einen technischen Maßstab.

2. Bearbeitete Arbeitspakete

Im Rahmen des Projektverlaufs wurde durch die LAV an folgenden Arbeitspakete gearbeitet:

- 1.3 Chemische, physikalische und biologische Bewertung verfügbarer Abdeckmaterialien (Bewertung des IST-Standes)
- 1.5 Zusammenfassung der Anforderungen und Erstellung eines Lastenheftes und Auswahl von Leitparametern für die Torfersatzstoffe sowie der Abdeckmaterialien
- 3.1 Identifizierung und Charakterisierung möglicher Ausgangsstoffe für die Herstellung von Torfersatzstoffen
- 3.2 Entwicklung Herstellungsverfahren für Torfersatzstoffe für Abdeckmaterialien
- 4.2 Rezepturentwicklung unter Nutzung und Anpassung des Excel-Tools
- 4.5 Untersuchung und Bewertung der Torfersatzstoffe und der Abdeckerden hinsichtlich der Lagerstabilität
- 5.1 Up-Scaling des Herstellungsverfahrens für Torfersatzstoffe sowie Abdeckerden in den technischen Maßstab beim Transferpartner Pilzhof Pilzsubstrat Wallhausen GmbH
- 5.3 Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für den Einsatz torffreier Kultursubstrate
- 6.2 Ökonomische Bewertung
- 7 Projekttreffen, Publikation, Berichtswesen

3. Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens

Bei der LAV wurde mit Hilfe von Laborversuchen die Eignung der Ausgangsstoffe untersucht, dokumentiert und zu ergreifende Maßnahmen für die Adaption bestehender Qualitätssicherungssysteme definiert. Dazu gehörten auch Schritte zur Vorbereitung und Aufbereitung der Probematerialien unter realbetrieblichen Bedingungen, die sich von den Bedingungen der Partner IHD und IKTS unterscheiden.

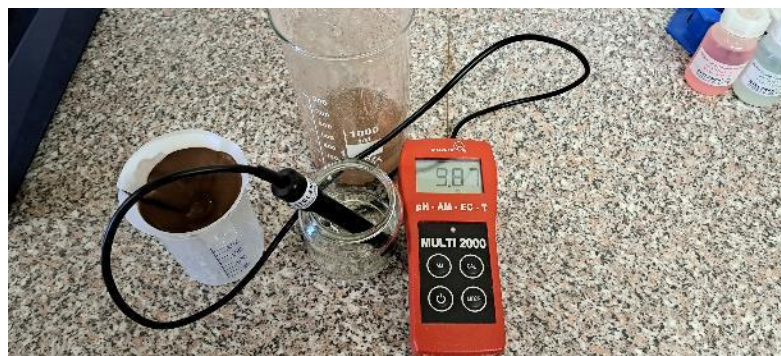


Abbildung 60: Qualitätssicherung Bodenlabor Erdenwerk Kulkwitz (LAV)



Abbildung 61: Ausgangsmaterialien und Qualitätskontrolle im Bodenlabor Kulkwitz (LAV)

Wichtiges Ziel war die Entwicklung von geeigneten Verarbeitungstechniken für die Ausgangsmaterialien. Dieses Ziel konnte erfolgreich erreicht werden. Mischungsversuche wurden sowohl für die Dosierung der Zuschlagstoffe und der benötigten Genauigkeit, um eine ausreichend hohe Reproduzierbarkeit der Ergebnisse durchgeführt. In einem zweiten Arbeitsschritt wurde anschließend mit angepasster Mischtechnik die genaue Feuchte und Konsistenz der Abdeckerden eingestellt. Die Ergebnisse können somit als Grundlage eines echten Scale-up genutzt werden. Fragen zur erreichenden Konsistenz und Feuchte der Abdeckerden wurden ebenfalls aus der Perspektive eines Erdenwerkes betrachtet.



Abbildung 62: automatische Belegung der Kisten mit torffreier Abdeckerde im Pilzhof Walldhausen (LAV)

Die Materialvoruntersuchungen sowie durch die LAV geleistete Aufbereitungen, Mischungen und Bewertungen haben sich innerhalb des Vorhabens als geeignet erwiesen. Weitere wesentliche Ergebnisse der LAV sind entlang der Hauptarbeitspakete in Kapitel »II. Ausführliche Darstellung der Ergebnisse« im Abschnitt »1 Erzielte Ergebnisse« dargestellt.

Teilvorhaben 3: Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH (2220MT005C)

1. Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens

Aufgabe des IHD war es, verschiedene Rezepturen für die torffreien Abdeckerden für die braunen und weißen Champignons (Referenz) und andere Kompostpilze (Kulturpilze) zu entwickeln. Dazu sollten verschiedene Roh- und Reststoffe chemisch, physikalisch und biologisch untersucht werden. Ziel der Untersuchungen war die Ermittlung der Zuschlags- und Torfersatzstoffe zur Entwicklung verschiedener Rezepturen für torffreie Abdeckerden für die Referenzstämme und fünf weitere Kulturpilze im Labormaßstab. Zudem sollten die Antagonisten und Synergisten der Referenzpilze sowie die Krankheitserreger ermittelt werden. Durch umfangreiche labortechnische Kultivierungsuntersuchungen wurden drei Vorzugsvarianten der torffreien Rezepturen ermittelt. Eine weitere Aufgabe des IHD war die Organisation und Betreuung sowie die Auswertung der Betriebsversuche. Hinzu wurde gemeinsam mit den Projektpartnern die Herstellung der drei Mischungen im technischen Maßstab durchgeführt. Schließlich wurden diese Mischungen in vier verschiedenen Betriebsversuchen getestet und im Vergleich zu den Laborergebnissen des IHD bewertet. Dazu wurden die Betriebe in regelmäßigen Abständen besucht und bei der Kultivierung der Referenzpilze auf den torffreien Mischungen vom IHD beraten. Die Ergebnisse der Betriebsversuche wurden gemeinsam mit dem Referenzbetrieb ReiPiKo ausgewertet und die Erkenntnisse abgeleitet.

2. Bearbeitete Arbeitspakete

Im Rahmen des Projektverlaufs wurde durch das IHD an folgenden Arbeitspakete gearbeitet:

- 1.1 Präzisierte Zusammenstellung der chemischen, physikalischen und biologischen Anforderungen an die Materialien für Deckschichten
- 1.2 Entwicklung bzw. Anpassung der Analytik von organischen und anorganischen Inhaltstoffen
- 1.3 Chemische, physikalische und biologische Bewertung verfügbarer Abdeckmaterialien (Bewertung des IST-Standes)
- 1.4 Identifizierung und Charakterisierung der Schaderreger (Schädlinge und Krankheiten) von Referenzpilzen in Anzuchterden
- 1.5 Zusammenfassung der Anforderungen und Erstellung eines Lastenheftes und Auswahl von Leitparametern für die Torfersatzstoffe sowie der Abdeckmaterialien
- 2.1 Auswahl von Pilzstämmen und Zusammenstellung der Anforderungen an die Abdeckerde
- 2.2 Ermittlung und Charakterisierung der zwei Referenzstämme und fünf anderer Kulturpilze
- 2.3 Bereitstellung von Pilzstämmen in labortechnischem Maßstab
- 3.1 Identifizierung und Charakterisierung möglicher Ausgangsstoffe für die Herstellung von Torfersatzstoffen
- 3.3 Biologische, chemische und physikalische Bewertung der Torfersatzstoffe sowie der Abdeckmaterialien
- 4.2 Rezepturentwicklung unter Nutzung und Anpassung des Excel-Tools
- 4.3 Laborkultivierungsuntersuchungen mit Referenzpilzstämmen
- 4.4 Laboruntersuchungen zur Reduzierung des Schädlings- und Krankheitsdrucks in der Pilzzucht
- 4.6 Chemische, physikalische und biologische Bewertung der Torfersatzstoffe sowie der Abdeckmaterialien
- 5.2 Praxisorientierte Betriebsversuche in der Pilzproduktion beim Transferpartner ReiPiKo Reitzenhainer Pilzkorb GmbH
- 7 Projekttreffen, Publikation, Berichtswesen

3. Wesentliche Ergebnisse des Teilvorhabens

Im Laufe des Projekts wurden 33 Roh- und Reststoffe sowie organische und anorganische Zusatzstoffe sowie 17 verschiedene abgetragene und frische Pilzsubstrate für die Entwicklung verschiedener Rezepturen bereitgestellt und charakterisiert. Die vier torfhaltigen Abdeckerden aus der Pilzproduktion wurden chemisch und biologisch analysiert. Häufig auftretende Pilze und Bakterien in Abdeckerden und Substraten der Referenzpilze wurden als Reinkultur isoliert. Insgesamt wurden 24 Bakterien und 12 verschiedene Pilze isoliert. Hierbei handelt es sich um bekannte milde Schädlinge in der Pilzzucht, die mit den Kulturpilzen um Substratinhaltstoffe konkurrieren. Die gefährlichsten Krankheitserreger der Champignons wurden bisher in untersuchten Abdeckerden nicht vorgefunden. Aus 20 ausgewählten anorganischen und organischen Komponenten wurden am IHD 120 verschiedene Mischungen gezielt hergestellt und bewertet. Dazu wurde

eine projektbezogene Stammsammlung aus zwei Referenzstämmen und 18 Kulturpilzen, die auf Kompostsubstraten mit den Abdeckerden wachsen, aufgebaut. Im Rahmen der Wachstumsversuche mit Referenzpilzen wurden auch die Auswirkungen des pH-Werts und der thermischen Behandlung untersucht.

In umfangreichen Laborversuchen wurden zwölf verschiedene IHD-Rezepturen für torffreie Abdeckerden entwickelt. Diese Rezepturen wurden innerhalb in Laborkultivierungsuntersuchungen mit Referenzpilzen mittels Bewertung der Fruktifikation und der substratspezifischen Neigung zur Förderung von Krankheiten getestet. Zudem erfolgten die chemischen und physikalischen Analysen sowie die biologische Bewertung. Dazu wurden u.a. ausgewählte Abdeckerdenvarianten für Fruktifikationsversuche in Kisten eingesetzt und in den Klimakammern des IHDs kultiviert. Abbildung 63 zeigt ausgewählte Beispiele für verschiedene Kultivierungsversuche am IHD.



Abbildung 63: Kultivierungsversuche am IHD

Weithin wurden häufig auftretende Pilze und Bakterien in Abdeckerden und Substraten der Referenzpilze als Reinkultur isoliert. Insgesamt war es möglich, von 192 isolierten Keimen (150 Bakterien, 42 Pilze) 95 auswertbare Sequenzen (78 Bakterien, 17 Pilze) zu erhalten und einer Spezies zuzuordnen. Anschließend wurden die häufig vorkommenden Keime auf ihre wachstumshemmende (Antagonisten) oder -fördernde Wirkung (Synergisten) untersucht, siehe Abbildung 64. Anhand dieser Ergebnisse wurde eine spezifische Zusatzmischung aus Mikroorganismen (SMS - spezifisches mikrobiologisches Substrat) für die torffreien Rezepturen entwickelt.

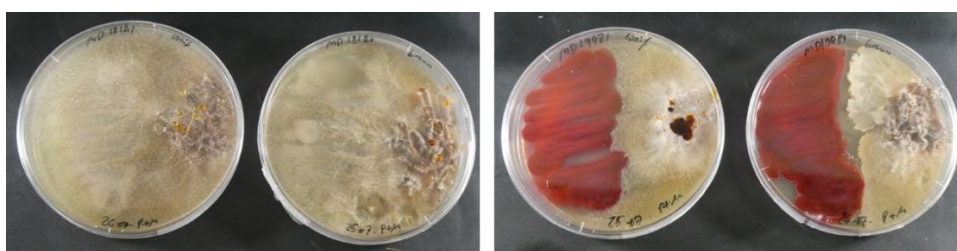


Abbildung 64: Ermittlung von Synergisten (links) und Antagonisten (rechts) des Champignonsubstrats (IHD)

Schließlich wurden drei Mischungen, M1, M2 und M3, aus den favorisierten IHD-Rezepturen beim LAV hergestellt und in vier Betriebsversuchen sowie am IHD durch Laborversuche bewertet. Zu diesem Zweck wurden die Referenzbetriebe in regelmäßigen Abständen besucht und bei der Kultivierung der Referenzpilze auf torffreien Mischungen beraten.



Abbildung 65: Zusammenarbeit mit verschiedenen Betrieben (IHD)

Die Einschätzung des IHD legt nahe, dass eine 100 % torffreie Pilzproduktion unter angepassten Klimabedingungen und optimierter Bewässerung ohne Ertragseinbußen möglich ist. Während die Erträge in den IHD-Laborversuchen niedriger waren als in den Betriebsversuchen, waren die Bewertungen der Mischungen identisch. Bisher wurde jedoch nur ein Pilzstamm von weißen und braunen Champignons getestet. Weitere Kulturpilze, die physiologisch identisch zu den Referenzpilzen sind, wurden ebenfalls mit torffreien Abdeckerden kultiviert. Hier deuten Ergebnisse darauf hin, dass für jeden Kulturpilz oder Stamm eine spezifische Rezeptur der Abdeckerde entwickelt und optimiert werden muss. Zudem sollten die optimalen klimatischen Bedingungen ermittelt werden. Daher sind für die wirtschaftliche Pilzproduktion mit torffreien Abdeckerden weitere gezielte Laborarbeiten erforderlich.

Weitere wesentliche Ergebnisse des IHD sind entlang der Hauptarbeitspakete in Kapitel »II. Ausführliche Darstellung der Ergebnisse« im Abschnitt »1 Erzielte Ergebnisse« und in drei Zwischenberichten dargestellt.