

Abschlussbericht einer Operationellen Gruppe

A Kurzdarstellung (in Alltagssprache)

I. Ausgangssituation und Bedarf

d.h.: was war das (praktische) Problem bzw. die „Innovationslücke“, die zum Zusammenschluss der OG und zur Durchführung des Innovationsprojektes anregen?

Im Kooperationsprojekt „Entwicklung eines neuartigen Verfahrens zur Kultur von Würzpilzen“ sollten ausgewählte Würzpilze auf regionalen, landwirtschaftlichen Feldfrüchten kultiviert werden. Die Fruchtkörper der im Projekt eingesetzten Pilze dienen schon seit vielen Jahrzehnten als Delikatesse, da sie z. B. nach Knoblauch, Anis oder Nelke schmecken. Pilzsammler, die ein großes Wissen über das Sammeln von Pilzen im Wald besitzen, können solche Pilze auch in Deutschland im Wald finden. Jedoch ist der kommerzielle Vertrieb im Wald gesammelter Pilze in Deutschland nicht erlaubt. Würzpilze, wie z. B. der Knoblauchswindling, sind aber sehr beliebt, um z. B. Suppen oder andere Gerichte zu würzen, da der Pilz ein einzigartiges Knoblaucharoma aufweist. Keiner der untersuchten Würzpilze wird aktuell industriell gezüchtet oder kommerziell vertrieben. Um dies zu ändern und Würzpilze auf den Lebensmittelmarkt zu bringen, wurde das Projekt initiiert. Können die Würzpilze überhaupt unter Laborbedingungen kultiviert und zur Fruchtkörperbildung angeregt werden? Welche Bedingungen sind nötig, damit diese Pilze wachsen können? Welche Aromastoffe sind für den typischen Geschmack der Würzpilze verantwortlich? Diese und einige weitere Fragestellungen wurden im Projekt adressiert.

II. Projektziel und konkrete Aufgabenstellung

Ziel des Kooperationsvorhabens war es, ein neuartiges Kultivierungsverfahren zur Zucht von Würzpilzen unter Verwendung von Erzeugnissen aus regionaler, landwirtschaftlicher Urproduktion zu entwickeln. Für die Landwirtschaft kann das Projekt daher grundsätzlich als Beispiel dienen mit einem gewissen Grundverständnis für die Pilzzucht und einer geeigneten Ausrüstung einen Mehrwert durch die Veredlung eigener landwirtschaftlicher Produkte (z. B. Getreide) zu erzielen. Landwirten soll es dadurch ermöglicht werden ein weiteres wirtschaftliches Standbein zu entwickeln. Die Produktion dieser Pilze sollte möglichst automatisiert ablaufen, z. B. soll das Animpfen des Getreides mit lebendem Pilzmycel über eine automatisierte und computergesteuerte Vorrichtung erfolgen.

Daraus ergaben sich folgende Fragestellungen:

- Wie muss das Mycel aus einer Flüssigkultur zerkleinert werden, um vitales Mycel zu erhalten, dass eine Kanüle mit einem Innendurchmesser von 2,4 mm passiert werden kann?
- Welche Umweltbedingungen (Feuchte, Licht, Temperatur) sind zum Durchwachsen eines Substrats aus landwirtschaftlicher Urproduktion mit vitalem, zerkleinertem Mycel ausgewählten Spezies einzustellen?
- Welche Umweltbedingungen sind einzustellen, um die ausgewählten Pilzspezies auf Substraten aus Erzeugnissen landwirtschaftlicher Urproduktion zur Bildung von Fruchtkörpern anzuregen?
- Wie könnte der Aufbau und Ablauf einer kontinuierlichen Fruchtkörperproduktion im Technikumsmaßstab zu gestalten sein?
- Welche Bedingungen müssen erfüllt werden, um die Technikum Produktion vollständig zu automatisieren?

- Welcher apparative Aufwand ist nötig, um eine automatisierte Technikum Produktion durchzuführen
- Welche Qualitäten müssen Erzeugnissen aus landwirtschaftlicher Urproduktion mindestens aufweisen um eine Nutzung als Würzpilzsubstrat zu genügen?
- Welche Herausforderungen bestehen Spelzgetreide in passender Bioqualität zu erzeugen?

III. Mitglieder der OG

Antragsteller war der Landwirtschaftsbetrieb Hirt (LWB Hirt) aus 99631 Weißensee, der als Nebenerwerbslandwirt in den Haupterwerbslandwirt und in den ökologischen Landbau wechseln möchte. Die Kooperationspartner waren die Justus-Liebig-Universität Gießen (JLU Gießen) aus 35390 Gießen, sowie ICS Industriedienstleistungen GmbH aus 06571 Roßleben-Wiehe, Landwirtschaftsbetrieb Ullrich Keil aus 99625 Kölleda und dem assoziierten Partner JenaBios GmbH aus 07749 Jena.

IV. Projektgebiet

Das Projekt ist im Gebiet der Landwirtschaft anzusiedeln. Landwirten kann es damit ermöglicht werden unabhängiger zu handeln, ihren Betrieb wirtschaftlich zu verbessern und eine weitere, alternative Einnahmequelle zu erschaffen, falls der Markt für z. B. Getreide einbrechen sollte. Die wirtschaftliche Verbesserung kann dazu führen, dass die Existenz der Landwirte in Deutschland gesichert wird und somit auch die Versorgung in Deutschland regional gefördert wird.

V. Projektlaufzeit und –dauer

Das Projekt war für die Dauer von 18 Monaten im Zeitraum vom 01.11.2022 bis 31.10.2024 angelegt.

VI. Budget

Die kalkulierten Gesamtkosten laut Projektskizze betrugen 167.471,50 €, mit einem Eigenmittelanteil von 34.808,70 €. Die Fördermittel betragen 143.785,18 €, mit einem Eigenanteil von 28.757,04 €.

VII. Ablauf des Vorhabens

Die Projektpartner arbeiteten alle parallel. Die JLU als wissenschaftlicher Partner etablierte ein Verfahren zur Fruchtkörperbildung auf den vom Landwirtschaftsbetrieb Hirt zur Verfügung gestellten Getreidefrüchten. Dies beinhaltete

- i) die Optimierung einer Flüssigkultivierung,
- ii) die optimale Zerkleinerung des Mycels und
- iii) die Fruktifikationsversuche im Labormaßstab.

Daneben wurden erste Qualitätsmarker auf Basis, der durch den Pilz produzierten Aromen identifiziert. Die Projektpartner LWB Hirt für den apparativen Teil und die ICS-ID für den EMSR Teil erstellten ein Entwurfskonzept einer Produktion im Technikumsmaßstab. Das Konzept wurde zu einer Entwurfsplanung weiterentwickelt. Dafür wurden folgende Schwerpunktthemen definiert:

- i) eine Submersanlage zur Anzucht, Kultivierung und Ernte des Mycel Inokulum

- ii) eine automatisierte Beimpfstation zur sterilen Überführung des Mycel Inokulum in die Fruchtkörper-Anzuchtkörper
- iii) Technikumsanlage für die Fruktifikationsversuche

Die neugewonnenen Erkenntnisse wurden bei regelmäßigen Projektmeetings vorgestellt und das Projekt somit vorangetrieben.

VIII. Zusammenfassung der Ergebnisse

An der JLU wurden für das Projekt sechs Pilzstämme auf sechs unterschiedlichen Substraten kultiviert. Bei dem echten Knoblauchschildling und dem Nelkenschwindling konnten erfolgreich Fruchtkörper produziert werden. Dabei erwies sich die Kombinationen aus echtem Knoblauchschildling auf Schwarzhafel als äußerst vielversprechend. Nach Optimierung konnte die Fruchtkörperausbeute von 0,1% auf bis zu 116% gesteigert werden. Die gesamte Kultivierung benötigt ca. 35 bis 42 Tage, abhängig vom flüssigen Vorkulturmedium und der eingesetzten Getreidemenge im Substrat der Festbettkultur.

Das Wachstum des Knoblauchschildlings findet in Wellen statt, d. h. es werden viele Fruchtkörper auf einmal gebildet, diese werden abgeerntet, sobald sie reif sind. Es schließt sich eine Ruhephase von ca. zwei bis drei Wochen an, in der keine oder nur sehr wenigen Fruchtkörper entstehen. Danach beginnt der Pilz wieder viele Fruchtkörper zu bilden und der Kreislauf beginnt erneut.

Die sensorische Analyse des echten Knoblauchschildlings zeigte, dass die typischen, knoblauchartigen Aromen von schwefelhaltigen Verbindungen wie u. a. Kohlenstoffdisulfid, 2,4-Dithiapentan und Dimethyltrisulfid gebildet werden. Auch nach einer Lagerung von über 15 Wochen bei Raumtemperatur war der Geschmack der Fruchtkörper noch immer sehr intensiv.

Während der Projektlaufzeit von 18 Monaten konnte der echte Knoblauchschildling zum ersten Mal erfolgreich im Labor unter definierten Bedingungen kultiviert werden, sodass sich auf dieses Wissen nun ein Upscaling in den Technikumsmaßstab und weitere Folgeprojekte anschließen können.

B Eingehende Darstellung

I. Verwendung der Zuwendung

d.h. Verwendung im Einzelnen (inklusive Auflistung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises) mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele und möglicher weiterer Verwendung von Investitionsgütern

Im Rahmen des Projekts wurden nur minimale Aufwendungen verzeichnet. Diese beschränkten sich ausschließlich auf die Reisekosten und die Verbrauchsmaterialien des Projektpartners JLU. Weitere Ausgaben waren nicht erforderlich.

II. Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn

a) Ausgangssituation

Pilze werden seit vielen Jahren wegen ihres Geschmacks, der Vielzahl von Nährstoffen und ihrer medizinischen Eigenschaften gegessen. Im Allgemeinen enthalten Pilze 90% Wasser und 10% Trockenmasse. Sie haben eine chemische Zusammensetzung, die aus ernährungswissenschaftlicher Sicht sehr abwechslungsreich ist. Ihr Nährwert kann mit dem von Eiern, Milch und Fleisch verglichen werden. Pilze enthalten auch Vitamine und

eine Fülle von essentiellen Aminosäuren. Einige Pilze können leicht kultiviert werden und haben weltweit bedeutende Märkte. Ungefähr 300 Pilzarten sind essbar, aber nur 30 davon wurden bisher domestiziert und kommerziell angebaut. Die wichtigsten Kulturspeisepilze weltweit sind der Champignon *Agaricus bisporus*, gefolgt von Seitlingen wie dem Austern-Seitling *Pleurotus ostreatus* oder dem Kräuterseitling *P. eryngii*, sowie dem Shiitake *Lentinula edodes*, die bereits einen wichtigen Platz auf dem Markt einnehmen.

Die „klassische“ Pilzzucht, die aktuell in Deutschland kommerziell betrieben wird, lässt sich in zwei Teile gliedern. Auf der einen Seite ist das Zuchtverfahren für den Champignon zu nennen, der in Deutschland mehr als 90% Marktanteil an den Zuchtpilzen hat. Auf der anderen Seite stehen die sogenannten Edelpilze, die auf Schüttsubstraten ohne Deckerde gezogen werden. Hierzu zählen die Seitlinge als auch alle anderen kultivierbaren Speisepilze. Daneben gibt es bisher nicht-kultivierbare Speisepilze, die ausschließlich durch Entnahme aus der Natur erhalten werden, wie z. B. Steinpilze oder Pfifferlinge. Allerdings gibt es noch viele weitere Spezies, die dem Menschen seit Jahrhunderten als Nahrung dienen und bisher nicht für eine Fruchtkörperproduktion verwendet wurden, wie z. B. der echte Knoblauchswindling *Mycetinis scorodonius*.

Der Stand der Zuchttechnik der erst genannten Pilzklasse stellt sich nun wie folgt dar:

Ein Pilzzüchter erwirbt von einem Hersteller von Substraten geeignete Rohstoffe. Von einem Lieferanten von Pilzmycel bezieht er die eigentliche Kultur. Dies ist in der Regel auf Getreide angesiedeltes Mycel. Der Pilzzüchter beimpft das Substrat mit dem Mycel und kultiviert den Ansatz entsprechend der vom Pilz abhängigen Verfahren, wobei das Substrat vollständig vom Pilz durchwachsen wird. Später wird z. B. durch Veränderung der klimatischen Bedingungen im Zuchtraum der Pilz zur Bildung von Fruchtkörpern angeregt.

Die Innovation lässt sich im Vorgenannten nun an zwei Stellen verorten. Zum einen wollte die Kooperation das mittels Submersfermentation erhaltene Mycel als Animpfgut zur Produktion von Pilzfruchtkörpern nutzen. Ein Hinweis, dass eine erfolgreiche Umsetzung dieses Konzeptes möglich ist, findet sich bereits in der Arbeit von Tan & Moore (1992). Die Autoren beschreiben eine abgestufte Homogenisierung, welche die Ausbeute des anschließend erhaltenen Shiitake-Mycels bei dessen Submers-Kultivierung steigern kann. Die Mycelkultivierung durch Anzucht und Überimpfung als Submerskultur bildet eine deutliche Verfahrensvereinfachung und damit die Möglichkeit zur Automation. Zum anderen wollte die Kooperation mit dem Submersverfahren und vom LWB Hirt entwickelten Festbettaufwuchskörpern ein Verfahren zur Zucht von Würzpilzen aus der Familie der Marasmiaceae (*Marasmius oreades*), der Omphalotaceae (*Mycetinis alliaceus*, *Mycetinis scorodonius*) und der Auriscalpiaceae (*Lentinellus cochleatus*) erproben. Gerade durch die Verwendung dieser verschiedenen Pilzgattungen wird der innovative Charakter des Projekts deutlich. Denn über die kommerzielle Kultivierung der essbaren Fruchtkörper ist bislang nichts bekannt. Es lassen sich lediglich einige Publikationen zur Submerskultivierung von *M. scorodonius* bzw. *M. alliaceus* sowie von Oberflächenkulturen (Emerskulturen) finden. Submersverfahren sind in der Biotechnologie Stand der Technik und sehr gut untersucht. Auch Knoblauchswindlinge wurden bereits submers kultiviert, denn der Knoblauchswindling produziert z. B. Peroxidasen und Laccasen, die kommerziell als Bleichmittel für z. B. Molke eingesetzt werden können. Allen Untersuchungen ist gemein, dass die Pilze sogenannte Mycelpellets bilden, die als Vorkultur für die eigentliche Fruchtkörperproduktion verwendet werden können. Die Innovation des vorliegenden Projektvorhabens bestand nun in der Adaption dieser

Erfahrungen auf die Bedingungen der Speisepilzzucht. So sollte ein Verfahren etabliert werden, das es jedem Landwirtschaftsbetrieb/Pilzzuchtbetrieb erlaubt unabhängiger und mit mehr Wertschöpfung zu produzieren. Die hier betrachteten Pilze gehören zu Gattungen saprotroph lebender Blätterpilze, die überwiegend kleine und dünnfleischige Fruchtkörper bilden.

Die Neuheit des Vorhabens lag zum einen in der Zucht von Würzpilzen, die bislang als gesammelte Exemplare nicht kommerziell vertrieben werden, da das erwerbsmäßige Sammeln in Deutschland verboten ist. Somit kann hier ein neuer Markt erschlossen werden. Zum anderen ergibt sich durch die Nutzung von Erzeugnissen aus landwirtschaftlicher Urproduktion für den Landwirt die Chance, einen alternativen Vermarktungsweg zu nutzen, der sich von den Qualitätsanforderungen der Futter- und Lebensmittelverarbeitenden Industrien abhebt. Die Fruktifikation von ausgewählten Würzpilzen ist bisher nicht wissenschaftlich beschrieben und es sind keine Patente zu den zu betrachtenden Spezies im Zusammenhang mit der Fruktifikation bzw. Fruchtkörpererzeugung bekannt. Durch gezielte Forschung und deren direkte Umsetzung sollte ein Mehrwert für den landwirtschaftlichen Betrieb geschaffen werden, der als Beispiel für weitere angewandte Forschung im Bereich der Speisepilzproduktion dienen kann.

b) Projektaufgabenstellung

Ziel des Kooperationsvorhabens war es, ein neuartiges Kultivierungsverfahren zur Zucht von Würzpilzen unter Verwendung von Erzeugnissen aus landwirtschaftlicher Urproduktion zu entwickeln. Für die Landwirtschaft kann das Projekt daher grundsätzlich als Beispiel dienen mit einem gewissen Grundverständnis für die Pilzzucht und einer geeigneten Ausrüstung Mehrwert durch die Valorisierung eigener landwirtschaftlicher Produkte (z. B. Getreide) zu erzielen.

In diesem ersten Teilprojekt sollten folgende Ziele erarbeitet werden:

- Kultivierungs- und Zerkleinerungsversuche zur Zucht von Würzpilzen in einem Submersmedium (Wie muss das Mycel aus einer Flüssigkeit zerkleinert werden, um vitales Mycel zu erhalten, das durch eine Kanüle mit einem Innendurchmesser von 2,4 mm passt?)
- Entwicklung eines für die Pilzarten optimierten Subersmediums aus den landwirtschaftlichen Substraten der beiden Thüringer Landwirtschaftsbetriebe
- Definierte Qualitätskriterien für die landwirtschaftlichen Substrate
- Aufwuchstestung: Erfolgreiche Fruktifikation von Furchtkörpern
- Wie ist der Aufbau und Ablauf einer kontinuierlichen Fruchtkörperproduktion zu gestalten?
- Welche Umweltbedingungen sind zum Durchwachsen eines Substrats aus landwirtschaftlicher Urproduktion mit vitalem, zerkleinertem Mycel ausgewählter Spezies einzustellen?
- Welche Umweltbedingungen sind einzustellen, um die ausgewählten Pilzspezies auf Substraten aus Erzeugnissen landwirtschaftlicher Urproduktion zur Bildung von Fruchtkörpern anzuregen?
- Qualitätsmerkmale für die erzeugten Würzpilze und Konzepte für die Vermarktung
- Welche Bedingungen müssen erfüllt sein, um die Produktion vollständig zu automatisieren?

III. Ergebnisse der OG in Bezug auf

a) Wie wurde die Zusammenarbeit im Einzelnen gestaltet

Für die Zusammenarbeit und Vernetzung der Projektpartner war der LWB Hirt zuständig. Mit allen Projektpartnern wurden regelmäßig, je nach der aktuellen Relevanz der Themen persönliche Projektmeeting am Standort des jeweiligen Partners durchgeführt. Der Wissenstransfer wurde durch persönliche Gespräche und ggf. durch Präsentationen von anderen Projektpartner erreicht. Da die Themenschwerpunkt der einzelnen Parten sehr weit voneinander entfernt sind, wurde keine gemeinsamen Treffen organisiert. Der LWB Hirt bildete den solitären Vernetzungspunkt.

b) Was war der besondere Mehrwert des Formates einer OG für die Durchführung des Projekts?

Durch die Zusammenarbeit konnten das Wissen und die Technologien aus verschiedenen Bereichen zusammengeführt werden. Die JLU Gießen steuerte als wissenschaftlicher Partner seine Expertise zum Thema Submerskultivierung von Mycel aus dem Bereich der Enzymproduktion sowie die Möglichkeit Ständerpilze im Labor zum Fruktifizieren anzuregen in die Kooperation ein. Weiterhin besteht ein tieferes Verständnis des pilzlichen Stoffwechsels und die apparativen Möglichkeiten Festbettversuche im Labormaßstab erfolgreich durchzuführen und damit in Zusammenhang stehende messtechnische Fragestellungen zu bewältigen.

Der wirtschaftliche Kooperationspartner verfügte über Erfahrungen aus mehr als zwei Jahrzehnten unterschiedlichsten Automatisierungsprojekten und hat die personellen sowie handwerklichen Fähigkeiten anspruchsvolle Automatisierungs- und Robotikanwendungen zu planen und umzusetzen.

Der landwirtschaftliche Partner betreibt seit mehreren Jahrzehnten einen Landwirtschaftsbetrieb im Haupterwerb und hat dementsprechend die maschinelle Ausstattung, Versuche unter den hier geforderten Bedingungen durchzuführen.

Der projektindizierende Landwirtschaftsbetrieb hat durch die biotechnologische Ausbildung und Erfahrung des Betriebsinhabers den Zugang zu innovativen Projekten. Der technische Hintergrund unterschiedlichster Disziplinen ermöglicht es anspruchsvolle Projekte im landwirtschaftlichen, sowie im verfahrenstechnischen Bereich, zu planen und umzusetzen.

c) Ist eine weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projekts vorgesehen?

Ja, es ist bereits ein Folgeprojekt mit einigen den aktuellen Mitgliedern der OG geplant, um die Fragestellungen zu einem upscaling auf eine industrielle Produktion zu klären.

IV. Ergebnisse des Innovationsprojektes

a) Zielerreichung (wurde eine Innovation im Projekt generiert?)

Im Rahmen des Projektes konnten zum ersten Mal Würzpilze wie der echte Knoblauchschildling und der Nelkenschwindling unter definierten Bedingungen im Labor kultiviert werden und somit ein neuartiges Kultivierungsverfahren zur Zucht von Würzpilzen unter Verwendung von Erzeugnissen aus landwirtschaftlicher Urproduktion entwickelt werden.

b) Abweichungen zwischen Projektplan und Ergebnissen

Die unter AP 6 Punkt 4 aufgeführte Analyse der flüchtigen Verbindungen während der Kultivierung und der Fruchtkörperproduktion konnte bislang noch nicht bearbeitet werden. Dies lag einerseits an dem langen Etablierungs- und Optimierungsprozess und andererseits an der langen Kultivierungsdauer von 5 bis 7 Wochen pro Kulturansatz, sodass die Analytik der flüchtigen Verbindungen in dem Projektzeitraum von 18 Monaten nicht durchgeführt werden konnte.

Weiterhin konnte AP 9 nicht umgesetzt werden, da der Transfer des verbrauchten Substrats aktuell zu gering für sinnvolle Versuche war. Das Thema wird im Folgeprojekt betrachtet, da eine Desintegration bzw. der Schluss des Stoffkreislaufs ein wichtiger Punkt der Nachhaltigkeitsanforderungen ist.

c) Projektverlauf (ggf. mit Fotodokumentation)

JLU:

Die wissenschaftlichen Arbeiten zur Fruktifikation der Würzpilze (Arbeitspakete (AP) 4 bis 7) fanden an der JLU statt. Sechs verschiedene Pilzstämme von vier unterschiedlichen Arten wurden untersucht. Darunter befanden sich zwei Stämme von *Mycetinis scorodonius* (echter Knoblauchswindling), zwei Stämme von *Mycetinis alliaceus* (langstieliger Knoblauchswindling), ein Stamm von *Marasmius oreades* (Nelkenschwindling) und ein Stamm von *Lentinellus cochleatus* (Anis-Zähling). AP 4, die Medienoptimierung der Submerskulturen, zeigte, dass Nackthafer und Hirse zum Ansetzen einer Flüssigkultur geeignet sind, da sie sich zu einem Pulver vermahlen lassen und keine Spelzen enthalten. Als Standardnährmedium wurde Malzextrakt verwendet. Die Kultivierungsdauer betrug, je nach Pilz und Medium, zwischen 7 und 14 Tagen und zeigte, dass beide Getreidesorten zur Kultivierung geeignet sind.

In AP 5 (Dispergierung des Mycels) konnten Erfolge bei der Homogenisierung des Mycels erzielt werden. Als bisher optimal erwies sich eine Dispergierung des Mycels mit einem Ultra-Turrax bei 10.000 U/min für 30 sec. Das Mycel wuchs anschließend sowohl in Flüssig- als auch in Festbettkulturen. Zudem wurde überprüft, ob das homogenisierte Mycel die vorgegebene Injektionsnadel passieren kann, die zum späteren Animpfen im Technikumsmaßstab eingesetzt werden soll. Dies war problemlos möglich.

Bei den Fruktifikationsversuchen im Labormaßstab (AP 6) konnten die ersten Erfolge nach fünf Monaten erzielt werden. Nach weiterer Optimierung der Kulturparameter konnten bislang zwei verschiedene Pilze zur erfolgreichen Fruktifikation gebracht. Während den Versuchen erwies sich von den sechs vorhandenen Substraten Schwarzhäfer als am geeignetsten. Daher wurde der Fokus auf dieses Getreide gelegt. Zu Beginn der ersten erfolgreich kultivierten Fruchtkörper des echten Knoblauchswindlings lag die Ausbeute, d. h. die Masse frischer Fruchtkörper in Bezug auf die eingesetzte Getreidemenge, bei 0,1%. Durch Optimierung des Kultivierungsaufbaus, weg von Kultivierungsbeuteln und hin zu flachen Edelstahlschalen mit einer großen Oberfläche, konnte die Ausbeute auf bis zu 116% gesteigert werden. Die mittlere Ausbeute der letzten 12 Kultivierungsansätze lag bei $(77 \pm 26)\%$; der Median lag bei 88%, wobei zum Zeitpunkt der Berichtserstattung noch einige Kulturen nicht vollständig beendet waren und noch höhere durchschnittliche Ausbeuten zu erwarten sind.

Abbildung 1 zeigt eine Kultivierungsbox mit optimierten Bedingungen und Fruchtkörpern des echten Knoblauchswindlings. Die Kultivierung des echten Knoblauchswindlings beinhaltet dabei folgende Schritte: Zuerst wurde eine flüssige Vorkultur angesetzt,

entweder mit dem Standardnährmedium Malzextrakt oder mit den vom LWB Hirt bereitgestellten Getreidesorten. 100 mL der flüssigen Vorkultur wurden mit 1 cm² einer bewachsenen Agarplatte angeimpft und Homogenisiert (30 sec, 10.000 U/min). Nach ca. 9 bis 13 d unter definierten Bedingungen waren die Vorkulturen vollständig bewachsen und konnten nach erneuter Homogenisierung zum Animpfen des Getreides eingesetzt werden. Die in Abbildung 1 dargestellten Edelstahlschalen der Größe GN 1/6 wurden mit 50 g luftgetrocknetem Getreide befüllt, das vorher über Nacht in Leitungswasser eingeweicht und autoklaviert (121 °C, 20 min) worden ist. Es resultierte eine Schichtdicke von ca. 1 cm. Das Getreide wurde mit 15 mL bewachsener und homogenisierter Vorkultur angeimpft. Nach vier bis fünf Tagen im Konstantraum wurde eine ca. 2 cm dicke Schicht aus Deckerde aufgebracht, die erneut im Konstantraum für ca. 6 d kultiviert wurde. Sobald die Deckschicht teilweise vom Mycel bewachsen war, wurde die gesamte Kultur in eine Klimabox bzw. Klimaschrank überführt. Durch die Veränderung der klimatischen Bedingungen wird der Pilz zur Fruchtkörperbildung angeregt. Nach 17 bis 37 Tagen sind erste Primordien (Ansätze, aus denen die Fruchtkörper entstehen) sichtbar. Das Heranreifen der Primordien zu reifen Fruchtkörpern dauert ebenfalls nochmal ca. 3 Wochen. Die Gesamtdauer vom Ansetzen der Vorkultur bis hin zu den ersten Primordien betrug somit 35 bis 42 d. Die Gesamtdauer vom Animpfen des Getreides bis hin zur ersten großen Ernte (1. Welle) betrug im Durchschnitt (72 ± 6) d. Nach dem Ernten der 1. Welle können sich weitere Wellen im Abstand von ca. 2 bis 3 Wochen anschließen, wobei die Menge an geernteten Fruchtkörpern mit steigender Anzahl deutlich sinkt. Während des Fruchtkörperwachstums bedarf es des regelmäßigen Feuchthaltens der Deckschicht.

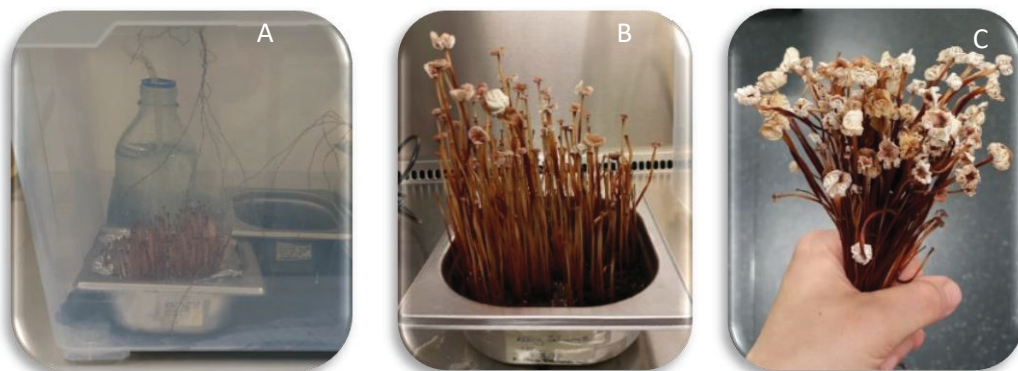


Abbildung 1: Aufbau der Kultivierungsbox mit befeuchteter Druckluft (A); gewachsene Fruchtkörper des echten Knoblauchswindlings in Edelstahlschalen (B) und geerntete, reife Fruchtkörper des echten Knoblauchswindlings (C).

Neben dem echten Knoblauchswindling konnte auch der Nelkenschwindling zur Fruktifikation gebracht werden. Zwei Wochen nach Animpfen des Getreides war dieses vollständig durchwachsen. Zum Durchwachsen der Deckerde waren nochmals drei Tage nötig und die ersten Fruchtkörper konnten nach einer Gesamtkultivierungszeit von 3 bis 5 Wochen beobachtet werden. Da die Fruchtkörper (Abbildung 2) allerdings sehr klein und äußerst leicht waren, bedarf es weiterer Optimierungsversuche, bevor die Produktion des Nelkenschwindlings wirtschaftlich gestaltet werden kann.

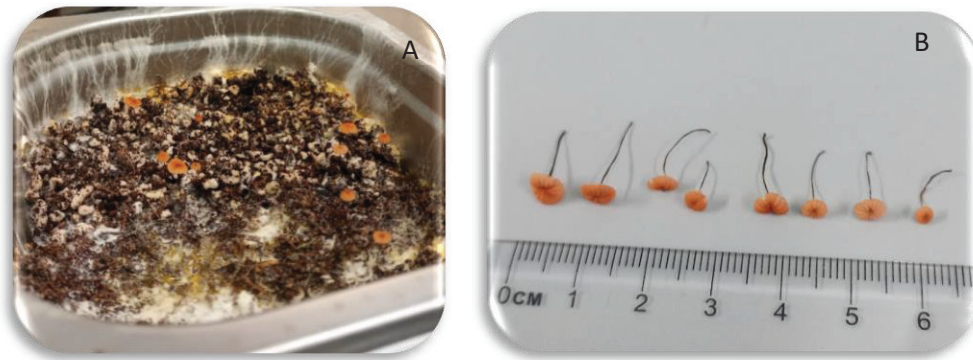


Abbildung 2: Kulturansatz des Nelkenschwindlings (A) und geerntete Fruchtkörper (B).

Die in AP 7 vereinbarte sensorische Analyse der Fruchtkörper ergab, dass bei dem echten Knoblauchschildling vorwiegend schwefelhaltige Stoffe für das typische Aroma verantwortlich sind. Fruchtkörper wurden getrocknet und gemörsert, mit etwas Wasser versetzt und mittels Gaschromatographie analysiert. Detektiert wurde mit einem Massenspektrometer und einem Olfaktometrischen-Port zum Riechen der chromatographisch getrennten Proben durch verschiedene Personen. Einerseits konnten typische Pilz-Aromen wie 1-Octen-3-on und 1-Octen-3-ol detektiert werden, andererseits schwefelhaltige Aromen wie Methanthiol, Kohlenstoffdisulfid, Dimethyldisulfid, Dimethyltrisulfid, 2,4-Dithiapentan oder 2,3,5-Trithiahexan. Zusätzlich zur Identifizierung der detektierten Aromastoffe wurde eine Lagerstabilitätsstudie durchgeführt, bei der die selbe Charge gemahlener Fruchtkörper über einen Zeitraum von mind. 15 Wochen analysiert worden ist. Tendenziell wurde dabei beobachtet, dass die schwefelhaltigen Aromastoffe nach 15 Wochen in der Intensität abnahmen, manche waren sogar ganz verschwunden. Dennoch schmeckten die getrockneten Fruchtkörper noch immer sehr intensiv nach dem typischen Knoblauchgeschmack.

ICS-ID:

Die Mitarbeiter der ICS-ID haben mit dem LWB Hirt ein Entwurfskonzept entwickelt. Aus diesem wurde die Entwurfsplanung der vollständigen EMSR-Komponenten der drei Teilprojekte Submers, Beimpfstation und Technikum im Eplan geplant und erstellt.

Die EMSR-Anlage lässt mit dem Stand vollständig kalkulieren und es kann daraus ein LV erstellt werden.

LWB Keil:

Das Projekt begann mit der Entscheidung, auf einer Versuchsfläche den Anbau von Spelzgetreide unter ökologischen Bedingungen zu testen. Ziel war es, Erkenntnisse über die Praktikabilität und Nachhaltigkeit des ökologischen Anbaus zu gewinnen und eine Grundlage für eine potenzielle Ausweitung zu schaffen.

Ein wichtiger Schritt im Projektansatz war der Wechsel von konventioneller Bewirtschaftung zur ökologischen Anbauweise. Dies erforderte umfassende Anpassungen, wie den Verzicht auf chemisch-synthetische Dünge- und Pflanzenschutzmittel sowie die Einführung von Fruchtfolgen und mechanischer Unkrautbekämpfung. Die Umstellungsphase war mit Herausforderungen verbunden, insbesondere im Hinblick auf den Erhalt der Beikraut Freiheit unter die Einhaltung ökologischer Richtlinien.

Es stellte sich heraus, dass die Umsetzung des Projekts stark von der Zustimmung der Verpächter der landwirtschaftlichen Flächen abhängig ist. Eine enge Zusammenarbeit und

transparente Kommunikation waren entscheidend, um Bedenken zu adressieren und die Akzeptanz für die ökologischen Bewirtschaftungsmaßnahmen zu sichern.

Die parallele Durchführung von Maßnahmen auf verschiedenen Versuchsflächen stellte eine große Herausforderung dar. Unterschiedliche Standortbedingungen sowie die Notwendigkeit, alle Maßnahmen an die ökologischen Richtlinien anzupassen, verlangten eine flexible Planung und Koordination, weshalb die Entscheidung auf einen Standort fiel. Trotz der Schwierigkeiten konnten erste Erkenntnisse über die Eignung von Spelzgetreide für den ökologischen Anbau gesammelt werden. Diese Ergebnisse dienen als Grundlage für weitere Optimierungsmaßnahmen. Der nächste Schritt besteht darin, die gewonnenen Erkenntnisse zu analysieren, um Entscheidungen für einen unterstützenden Anbau zu erleichtern.

LWB Hirt:

Zu Beginn des Projekts wurde ein umfassendes Konzept erstellt, das als strategische Grundlage für die Umsetzung dient. Dieses Konzept definiert die übergeordneten Ziele und Rahmenbedingungen für die Entwicklung der drei Teilanlagen.

Für die drei zentralen Teilprojekte wurde eine detaillierte Anforderungsmatrix entwickelt. Diese diente dazu, alle technischen, funktionalen und regulatorischen Anforderungen systematisch zu erfassen und sicherzustellen, dass die Ziele jedes Teilprojekts klar definiert wurden.

Jede einzelne Komponente der Anlage wurde im Detail geprüft und spezifiziert. Dies umfasst die Definition technischer Parameter, Schnittstellen sowie die Anforderungen an die Integration in das Gesamtsystem.

Die Verfügbarkeit der benötigten Komponenten am Markt wurde geprüft. Dabei wurden mögliche Engpässe identifiziert, und für nicht verfügbare Bauteile wurden Alternativen entwickelt.

Für nicht am Markt verfügbare Komponenten wurden mit modernster 3D-Konstruktionssoftware maßgeschneiderte Alternativen entworfen. Diese Konstruktionen gewährleisteten sowohl die Funktionalität als auch die Kompatibilität mit der Gesamtanlage. Der Zusammenbau der Anlage wurde mittels 3D-Planung vorbereitet. Diese Planung umfasst die Integration aller Komponenten sowie die Berücksichtigung von Montageabfolgen und Platzanforderungen, wie Abbildung 3 und 4 zeigen.

Während des Projektverlaufs wurden Änderungen am ursprünglichen Konzept erforderlich. Beispielsweise zeigte sich, dass ein flächiger Ansatz eine deutlich höhere Ausbeute ermöglicht. Diese Erkenntnis führte zu einer Überarbeitung des Designs und erforderte zusätzliche Anpassungen in den Teilprojekten.

Mit den vorliegenden Ergebnissen konzentriert sich das Projektteam nun auf die Umsetzung der optimierten Designs und die anschließende Inbetriebnahme. Gleichzeitig werden die Anpassungen laufend überwacht, um mögliche Risiken frühzeitig zu erkennen und Gegenmaßnahmen einzuleiten.

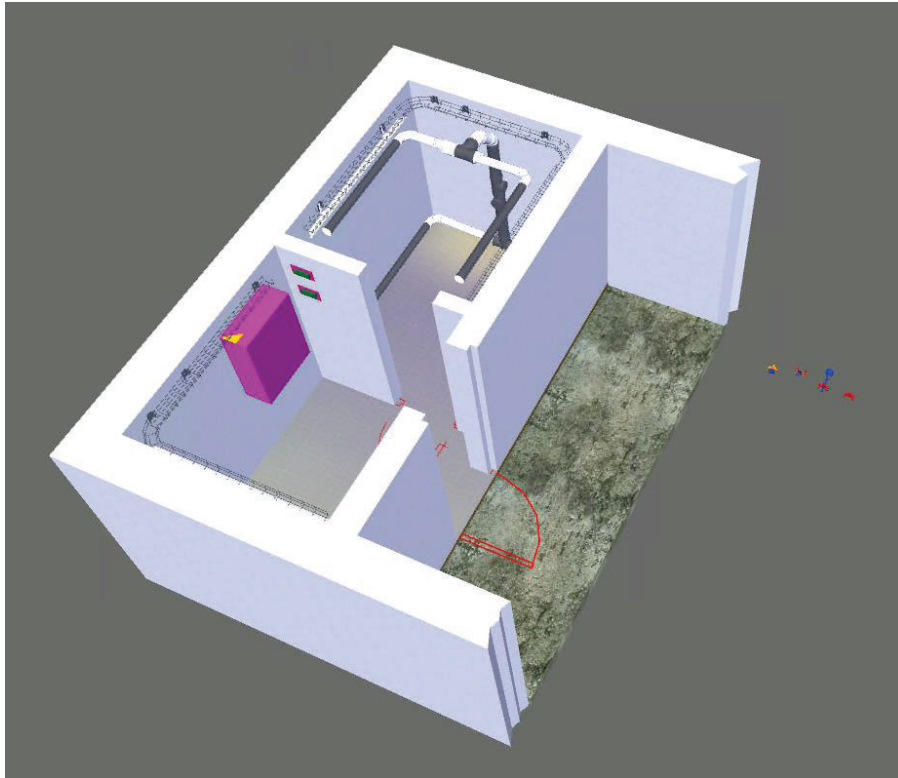


Abbildung 3: 3D Modell des Technikums

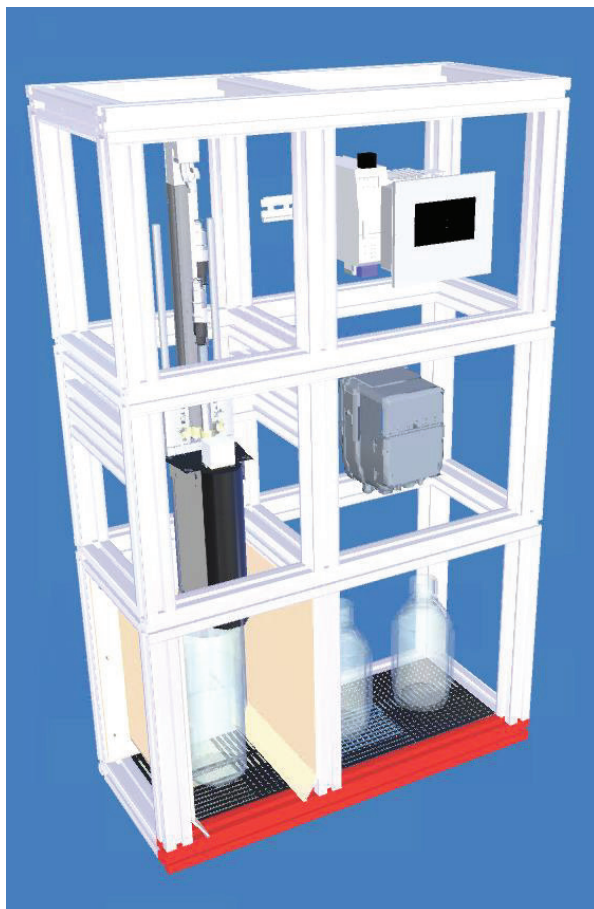


Abbildung 4: 3D Modell Beimpfstation

d) Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP Zielen

Die Projektidee zur ökologischen Pilzzucht kann maßgeblich dazu beitragen, zentrale Herausforderungen in der Landwirtschaft zu bewältigen. Die Pilzzucht bietet eine Möglichkeit, die landwirtschaftliche Produktion an die Herausforderungen des Klimawandels anzupassen. Unter kontrollierten Bedingungen können stabile Erträge unabhängig von extremen Wetterbedingungen erzielt werden. Darüber hinaus tragen Pilze durch ihren hohen Nährstoffgehalt und ihre lokale Produktionsmöglichkeit zur Ernährungssicherheit bei, indem sie als nachhaltige Proteinquelle eine wachsende Bevölkerung versorgen können. Dieses innovative Konzept verbindet ökologische, wirtschaftliche und soziale Nachhaltigkeit und bietet eine zukunftsweisende Lösung für die Landwirtschaft.

e) Nebenergebnisse

keine

f) Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

In den ersten Monaten wurde mit den an der JLU vorhandenen Pilzstämmen gearbeitet. Dabei stellte sich heraus, dass einige Stämme die Fähigkeit Fruchtkörper zu bilden verloren hatten, sodass weitere, neue Stämme erworben wurden. Mit diesen Stämmen konnten dann erfolgreich Fruchtkörper kultiviert werden.

V. Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

d.h. sind nutzbare/verwertbare Empfehlungen, Produkte, Verfahren, oder Technologien entstanden?

Der echte Knoblauchswindling konnte mit sehr guten Ausbeuten auf Getreide kultiviert werden. Die Fruchtkörper sind sowohl in frischem, als auch in getrocknetem Zustand in kalten und warmen Speisen genießbar. Das Protokoll zur Kultivierung von echten Knoblauchswindlingen ist bekannt und kann eingesetzt werden. Bislang wurde dies im Labormaßstab durchgeführt; in naher Zukunft soll ein Upscaling in den Technikumsmaßstab erfolgen bei dem die entwickelten Technologien eingesetzt werden sollen.

VI. (Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse

Langfristig soll sich ein Kreislauf aus landwirtschaftlicher Produktion und Zulieferung von Substraten, der Pilzzucht an sich und einer Verwertung des anfallenden Pilzsubstrates einstellen. Es soll eine kontinuierliche Produktion und Vermarktung von Würzpilzen in enger Kooperation mit einem landwirtschaftlichen Betrieb aufgebaut werden, welcher dann im Haupteinsatz betrieben werden kann. Perspektivisch soll die im Teilprojekt 2 erstellte Anlage dann genutzt werden, um für weitere Pilze die entsprechenden Kulturbedingungen zu erproben. Daneben soll das Verfahren weiter automatisiert werden, mit dem Ziel einer vollständig automatisierten Produktion.

VII. Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Gibt es weitergehende (wissenschaftliche) Fragestellungen aus den Projektergebnissen, die zukünftig zu bearbeiten sind?

Die derzeitigen Ergebnisse haben erstmals gezeigt, dass es möglich ist die untersuchten Würzpilze im Labormaßstab unter definierten Bedingungen zu kultivieren und sie auch zur Fruchtkörperbildung anzuregen.

Diese Ergebnisse dienen als Grundlage für das bereits beantragte Folgeprojekt, bei dem es um das Upscaling in den Technikumsmaßstab bzw. Industriemaßstab und das Optimieren der Bedingungen gehen soll. Wenn der Übergang in einen größeren Maßstab gelingt, steht den Landwirten eine neue finanzielle Einnahmequelle zur Erhaltung und Sicherung des Betriebes zur Verfügung.

VIII. Wo relevant: Nutzung Innovationsdienstleister (IDL)

Darstellung, ob und in welchem Umfang der IDL nutzbringend und erforderlich für OG und Projektergebnis war. Ggf. Verbesserungsvorschläge.

Die Zusammenarbeit mit dem Innovationsdienstleister hat das Projekt in vielerlei Hinsicht bereichert. Durch die Möglichkeit des Austauschs mit anderen Projekten wurden wertvolle Erfahrungen gesammelt. Besonders hervorzuheben ist die Fähigkeit des Dienstleisters, alternative Vertriebswege aufzuzeigen, die zur Erweiterung der Marktchancen beitragen können. Darüber hinaus unterstützte er das Team umfassend im gesamten Projektverlauf und stand insbesondere bei komplexen Fragestellungen zur Abrechnung als zuverlässiger Berater zur Seite. Diese Kombination aus fachlicher Expertise und praxisorientierter Beratung trug maßgeblich dazu bei, das Projekt effizient und erfolgreich umzusetzen.

IX. Kommunikations- und Disseminationskonzept

Darstellung, in welcher Weise die Ergebnisse kommuniziert oder verbreitet wurden, ggf. mit Verweis auf Veröffentlichungen und Angabe der Quellen. Grundsätzliche Schlussfolgerungen (ggf. Fazit zur Eignung von EIP-Förderung zur Generierung von Innovation und Schließung von Lücken zwischen Praxis und Wissenschaft) und eventuelle Vorschläge zur Weiterentwicklung der

EIP

AGRI.

Die Projektergebnisse wurden auf verschiedenen Plattformen vorgestellt, um den fachlichen Austausch zu fördern und die Sichtbarkeit zu erhöhen. Sie wurden auf den Grünen Tagen Thüringen 2024 präsentiert, einem wichtigen Event für Landwirtschaft und Innovation, sowie im Rahmen eines EIP-Agri-Vernetzungstreffens, das den Austausch von Wissen und Erfahrungen zwischen Projekten unterstützt. Zudem wurden die Ergebnisse in Form eines Posters bei den 52. Deutschen Lebensmittelchemietagen vorgestellt, um Experten aus der Lebensmittelchemie gezielt anzusprechen.

Darüber hinaus wurde die Marktlage von Knoblauch-Schwinglingen auf der Biofach 2024 evaluiert, einer führenden Messe für biologische Produkte. Diese Analyse diente dazu, potenzielle Absatzmärkte zu identifizieren und den praktischen Nutzen der Projektergebnisse zu erweitern.